

SÔNIA LOPES

BIO



VOLUME ÚNICO



Editora
Saraiva

SÔNIA LOPES

Professora Doutora do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências
da Universidade de São Paulo

Ilustrações: Anna Maria de Andrade Marques,
Fernando Monteiro, Jurandir Ribeiro, Osni Oliveira,
Wilma Chiarelli



VOLUME ÚNICO

Introdução à Biologia e origem da vida

Citologia

Reprodução, Embriologia e Histologia

Seres vivos

Genética

Evolução

Ecologia

1ª edição – 2004
4ª tiragem – 2006

São Paulo



**Editora
Saraiva**



ISBN 85-02-04796-5

ISBN 85-02-04797-3 (Livro do professor)

Bio – Volume Único

© Sônia Lopes, 2004

Direitos desta edição:

SARAIVA S. A. – Livres Editores, São Paulo, 2004

Todos os direitos reservados

Supervisão editorial: José Lino Fruet

Editor: Ronaldo A. Duarte Rocha

Assistentes editoriais: Glaucia Teixeira M. Thomé
M. Estela Heider Cavalheiro

Copy-desk: Sérgio Roberto Torres

Revisão: Fernanda Almeida Umile (supervisão)
Aurea M. dos Santos, Débora Andrade, Mariana Albertini,
Renata G. Palermo, Rosângela M. S. Rago,
Salvine Maciel, Sueli Bossi da Silva, Tatiana Sado

Gerência de arte: Nair de Medeiros Barbosa

Supervisão de arte: Antonio Roberto Bressan

Capa: Alexandre Rampazzo

Projeto gráfico: Antonio Roberto Bressan

Imagem de capa: Photodisc

Ilustrações: Anna Maria de Andrade Marques, Fernando Monteiro,
Jurandir Ribeiro, Osni Oliveira, Wilma Chiarelli

Diagramação e finalização: Tavares Pré-impressão S/C Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Lopes, Sônia

Bio : volume único / Sônia Lopes. — 1. ed. — São Paulo :
Saraiva, 2004.

ISBN 85-02-04796-5 (Livro do aluno)

ISBN 85-02-04797-3 (Livro do professor)

1. Biologia (Ensino médio) 2. Biologia — Problemas, exercícios
etc. (Ensino médio) I. Título.

04-3504

CDD-574.07
- 574.076

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07
2. Exercícios : Biologia 574.076

Impressão e acabamento: **Editora SARAIVA**



**Editora
Saraiva**

2004

Av. Marquês de São Vicente, 1697 – CEP 01139-904 – Barra Funda – São Paulo-SP
Tel.: PABX (0**11) 3613-3000 – Fax: (0**11) 3611-3308 – Televendas: (0**11) 3613-3344
Fax Vendas: (0**11) 3611-3268 – Atendimento ao Professor: (0**11) 3613-3030
Endereço Internet: www.editorasaraiva.com.br – E-mail: atendprof.didatico@editorasaraiva.com.br

APRESENTAÇÃO

Prezado(a) estudante:

Ao escrever este livro, pensamos em contribuir para sua formação, dando subsídios para que você continue a enfrentar os desafios da vida.

O conhecimento cresce a passos largos, especialmente na área biológica, e atualizar-se deve ser uma atividade diária, mediante a leitura de publicações de cunho científico. Vivemos um período de grandes avanços do saber e devemos estar preparados para compreender o que eles significam. Adequar o que já se sabe ao nível de escolaridade que você está e prepará-lo para assimilar novos avanços do conhecimento biológico, sem exagerar na quantidade de informação e, ao mesmo tempo, abrindo espaços para a reflexão e o desenvolvimento do espírito de cidadania, foram objetivos que nortearam a presente obra.

Cada vez mais, a área biológica tem trazido informações que visam melhorar a qualidade do meio, aumentar a oferta de alimentos, aprimorar as condições de saúde e desvendar os mecanismos que regem a vida. Essas informações precisam ser compreendidas por pessoas das mais diversas áreas de para que possamos reverter a triste situação em que se encontra a vida no planeta. Com isso, a área biológica vem assumindo cada vez mais importância na formação das pessoas.

Ao entrar no universo biológico, você terá condições de multiplicar esse conhecimento e contribuir para desenvolver nas pessoas ao seu redor o respeito à vida em todas as suas manifestações.

Os conteúdos abordados neste livro foram organizados em unidades, formadas por capítulos. Todos finalizam com as Questões para estudo, elaboradas de maneira a propiciar que você faça um resumo do que foi discutido no capítulo e aplique o que aprendeu na resolução de problemas ou no desenvolvimento de propostas de atividades. Seguem-se um Texto para discussão em que são propostas questões, muitas delas para você desenvolver juntamente com seus colegas de classe, Testes e Questões discursivas de vestibular e do ENEM.

Para aproveitar melhor o presente material, sugerimos que você faça uma leitura cuidadosa do texto, explorando também as figuras que acompanham e ilustram as explicações. No texto, você encontra ainda quadros com informações adicionais a respeito do assunto tratado. Procuramos sempre relacionar ao seu cotidiano os conteúdos trabalhados, apresentando uma Biologia mais próxima da sua realidade.

Esta obra *traz* a terminologia atualizada de acordo com aquela proposta oficialmente pelas *Nomina* Anatomicas humana, citológica, embriológica, histológica, aviária e veterinária existentes. Se necessário, quando citado pela primeira vez, o termo oficial vem acompanhado do antigo, entre parênteses.

No final do livro há uma tabela com os nomes antigos e os oficiais correspondentes, além de um Índice remissivo, que apresenta, em ordem alfabética, termos importantes usados em Biologia. Sempre que tiver dúvida sobre a localização de algum deles, basta consultar esse índice.

Por mais completo que um livro possa ser, ele nunca substitui o (a) seu (sua) professor(a), pois será ele(a) que estará ao seu lado pessoalmente, contribuindo para lhe dar a melhor formação possível.

Esperamos que você, ao estudar Biologia, aprenda a amar e a respeitar cada vez mais a vida. Com carinho,

A Autora

SUMÁRIO



UNIDADE 1

Introdução à Biologia e origem da vida

CAPÍTULO 1

Biologia: visão geral e origem da vida, 10

1. O que é Biologia, 10
2. As áreas de estudo da Biologia, 11
3. O método científico, 12
4. O objeto de estudo da Biologia: os seres vivos, 13
5. A origem dos seres vivos, 15
6. Geração espontânea ou abiogênese, 15
7. Biogênese *versus* abiogênese, 16
8. Hipóteses sobre a origem da vida, 18

9. A hipótese de Oparin e Haldane, 18
10. O experimento de Miller, 19
11. A evolução do metabolismo, 20

Questões para estudo, 22

Texto para discussão – O equilíbrio da natureza, 22

Testes, 24

Questões discursivas, 26

CAPÍTULO 2

Das origens até os dias de hoje, 27

1. Os primeiros seres vivos: as bactérias, 27

2. O surgimento das células mais complexas: as eucarióticas, 27
3. O tempo geológico, 29
4. A biosfera, 33
5. Os reinos de seres vivos, 33

Questões para estudo, 34

Texto para discussão – Harmonia e respeito entre seres humanos e natureza: uma questão de vida, 34

Testes, 35

Questões discursivas, 36



UNIDADE 2

Citologia

CAPÍTULO 3

A composição química das células, 38

1. Introdução, 38
2. A água, 38
3. Os sais minerais, 40
4. Vitaminas, 40
5. Carboidratos, 42
6. Lipídios, 43
7. Proteínas, 45
8. Enzimas, 48
9. Os ácidos nucleicos, 49

Questões para estudo, 50

Texto para discussão – Contando calorias, 51

Testes, 52

Questões discursivas, 53

CAPÍTULO 4

Introdução à Citologia e superfície das células, 55

1. Citologia: seu surgimento e desenvolvimento, 55
2. Microscópios de luz, 56
3. Microscópios eletrônicos, 58
4. A teoria celular, 60
5. Medidas usadas no estudo das células, 60
6. Como vamos estudar as células, 60
7. Os envoltórios celulares, 61
8. Processos de troca entre a célula e o meio externo, 63

9. Concentração de uma solução, 63
10. Difusão, 64
11. Osmose, 64
12. Difusão facilitada, 65
13. Transporte ativo: bomba de sódio e potássio, 66
14. Endocitose e exocitose, 67

Questões para estudo, 69

Texto para discussão – Controle osmótico em protistas de água doce, 70

Testes, 70

Questões discursivas, 72

CAPÍTULO 5

Citoplasma, 73

1. Comparando células procarióticas com eucarióticas, 73
2. O estudo do citoplasma, 75
3. Citoesqueleto, 75
4. Síntese, transporte e armazenamento das macromoléculas, 78
5. Plastos e cloroplastos, 81
6. Mitocôndrias, 82

Questões para estudo, 83

Texto para discussão – Citoesqueleto, cílios, flagelos e você, 84

Testes, 85

Questões discursivas, 86

CAPÍTULO 6

Metabolismo energético das células, 88

1. Introdução, 88
2. Fotossíntese, 89
3. Quimiossíntese, 93
4. Respiração aeróbica, 93
5. Respiração anaeróbica, 97
6. Fermentação, 97

Questões para estudo, 99

Texto para discussão – Como adquirir um bom condicionamento físico, 99

Testes, 100

Questões discursivas, 101

CAPÍTULO 7

O núcleo e a síntese protéica, 104

1. Introdução, 104
2. Número e forma, 104
3. Carioteca, 105
4. Cromatina e nucleoplasma, 105
5. Nucléolo, 105
6. Cromossomos, genes e DNA, 106
7. Duplicação do DNA, 106
8. Síntese de RNA: transcrição, 107
9. O código genético, 107
10. Síntese de proteínas: tradução, 108

Questões para estudo, 111

Texto para discussão – Mutações gênicas, 112

Testes, 113

Questões discursivas, 114

CAPÍTULO 8

As divisões celulares, 115

1. Introdução, 115
2. Ciclo celular e mitose, 116

3. Citocinese, 117
4. Mitose em células vegetais, 118
5. Meiose, 119
6. A divisão celular das bactérias, 122

Questões para estudo, 123

Texto para discussão – Consequências da não-disjunção dos cromossomos na meiose humana, 123

Testes, 125

Questões discursivas, 126



UNIDADE 3

Reprodução, Embriologia e Histologia

CAPÍTULO 9

Reprodução, 128

1. Introdução, 128
2. Reprodução assexuada, 128
3. Reprodução sexuada, 129
4. Espermatozoides, 130
5. Óvulos, 130
6. Gametogênese, 131
7. Sistema genital masculino, 134
8. Sistema genital feminino, 135
9. Fecundação, 135
10. Doenças sexualmente transmissíveis, 136

Questões para estudo, 137

Texto para discussão – Filhos: uma decisão responsável, 138

Testes, 141

Questões discursivas, 142

CAPÍTULO 10

O desenvolvimento embrionário, 144

1. Introdução, 144
2. Fases do desenvolvimento embrionário, 144
3. Segmentação, 145
4. Gastrulação, 147
5. Organogênese em anfioxo, 149
6. Organogênese em rã, 150
7. Anexos embrionários, 151
8. Placenta, 152
9. Desenvolvimento embrionário humano, 153
10. O nascimento na espécie humana, 155

Questões para estudo, 156

Texto para discussão – Por que amamentar?, 157

Testes, 158

Questões discursivas, 159

CAPÍTULO 11

Histologia animal, 160

1. Tecidos: objeto de estudo da Histologia, 160
2. Tecidos epiteliais, 160
3. Classificação dos tecidos epiteliais, 162
4. Tecidos conjuntivos, 165
5. Tecidos musculares, 168
6. Tecido nervoso, 171

Questões para estudo, 174

Texto para discussão – Células-tronco: o que são e quais questões éticas estão envolvidas, 175

Testes, 177

Questões discursivas, 178



UNIDADE 4

Seres vivos

CAPÍTULO 12

Introdução ao estudo dos seres vivos, 180

1. A diversidade de seres vivos, 180
2. Noções de Sistemática, 182
3. Sistemática evolutiva e filogenética, 183
4. Sistemática: uma área em constante modificação, 185

Questões para estudo, 185

Texto para discussão – Um pouco da história da classificação dos seres vivos, 186

Testes, 189

Questões discursivas, 190

CAPÍTULO 13

Vírus, 191

1. Introdução, 191
2. Bacteriófagos, 191
3. Vírus de plantas, 192
4. Vírus de animais, 193
5. Os vírus e a saúde humana, 194

Questões para estudo, 198

Texto para discussão – Vacinação, 199

Testes, 200

Questões discursivas, 201

CAPÍTULO 14

Reino Monera, 202

1. Introdução, 202
2. Diversidade morfológica entre as bactérias, 202
3. Reprodução nos moneras, 205
4. As bactérias e a saúde humana, 206

Questões para estudo, 208

Texto para discussão – As bactérias podem ajudar a resolver problemas do esgoto e do lixo, 208

Testes, 210

Questões discursivas, 211

CAPÍTULO 15

Reino Protista, 213

1. Introdução, 213
2. Os grupos de protozoários, 213
3. Os protozoários e a saúde humana, 216
4. Algas, 218
5. Reprodução e ciclo de vida nas algas pardas, vermelhas e verdes, 221

Questões para estudo, 222

Texto para discussão – Malária: sério problema de saúde pública, 222

Testes, 223

Questões discursivas, 224

CAPÍTULO 16

Reino Fungi, 226

1. Características gerais, 226
2. Classificação dos fungos, 227
3. Zigomicetos, 231
4. Ascomicetos, 231
5. Basidiomicetos, 233
6. Líquens, 234

Questões para estudo, 235

**Texto para discussão – Fungos – he-
róis e vilões da biosfera, 235**

Testes, 236

Questões discursivas, 237

CAPÍTULO 17

Reino Plantae, 239

1. Origem e classificação das plantas, 239
2. Briófitas, 240
3. Pteridófitas, 242
4. Gimnospermas, 242
5. Angiospermas, 243
6. Reprodução assexuada, 246

Questões para estudo, 248

Texto para discussão – Impactos das plantas transgênicas no sistema de produção de alimentos, 248

Testes, 249

Questões discursivas, 251

CAPÍTULO 18

Histologia, anatomia e morfologia das angiospermas, 252

1. A planta em desenvolvimento, 252
2. A planta em crescimento, 252
3. Os tecidos primários das angiospermas, 253
4. Os tecidos secundários das angiospermas, 256
5. Disposição dos tecidos nas raízes, 257
6. Disposição dos tecidos nos caules, 258
7. Disposição dos tecidos nas folhas, 260
8. Sistemas radiculares, 261
9. Sistemas caulinares, 262
10. Morfologia da folha, 264
11. Frutos e pseudofrutos, 265
12. Disseminação das sementes e dos frutos, 266

Questões para estudo, 266

Texto para discussão – Plantas tóxicas, 267

Testes, 268

Questões discursivas, 269

CAPÍTULO 19

Fisiologia das angiospermas, 271

1. Introdução, 271
2. Absorção, 271
3. Condução da seiva bruta, 271
4. Condução da seiva elaborada, 273
5. Transpiração, 274
6. Fotossíntese *versus* respiração, 274
7. Hormônios vegetais, 275
8. Efeitos da luz sobre o desenvolvimento da planta, 276

Questões para estudo, 278

Texto para discussão – Um triste exemplo de conhecimento biológico mal-utilizado, 280

Testes, 280

Questões discursivas, 281

CAPÍTULO 20

Introdução aos animais e estudo de Porifera e de Cnidaria, 283

1. Introdução, 283
2. Origem e evolução dos animais, 283
3. Filo Porifera, 286
4. Filo Cnidaria, 289

Questões para estudo, 295

Texto para discussão – As esponjas e sua importância médica, ecológica e econômica, 295

Testes, 297

Questões discursivas, 299

CAPÍTULO 21

Platyhelminthes e Nematoda, 300

1. Filo Platyhelminthes, 300
2. Filo Nematoda, 304

Questões para estudo, 308

Texto para discussão – Monteiro Lobato e a gênese do Jeca Tatu, 309

Testes, 310

Questões discursivas, 312

CAPÍTULO 22

Mollusca e Annelida, 313

1. Filo Mollusca, 313
2. Filo Annelida, 316

Questões para estudo, 318

Texto para discussão – Quando o escargot vira praga, 319

Testes, 321

Questões discursivas, 322

CAPÍTULO 23

Arthropoda e Echinodermata, 323

1. Filo Arthropoda, 323
2. Filo Echinodermata, 331

Questões para estudo, 334

Texto para discussão – Principais aranhas e escorpiões de interesse médico, 335

Testes, 337

Questões discursivas, 338

CAPÍTULO 24

Chordata I, 340

1. Características gerais dos cordados, 340

2. Subfilo Urochordata, 341
3. Subfilo Cephalochordata, 342
4. Subfilo Vertebrata:
características gerais, 343
5. Agnatha ou Cyclostomata, 345
6. Peixes cartilaginosos, 346
7. Peixes ósseos, 347
8. Anfíbios, 350

Questões para estudo, 353

Texto para discussão – O declínio das populações de anfíbios: uma questão atual em conservação biológica, 353

Testes, 354

Questões discursivas, 356

CAPÍTULO 25

Chordata II, 357

1. Répteis, 357
2. Aves, 362
3. Mamíferos, 364

Questões para estudo, 368

Texto para discussão – Serpentes peçonhentas do Brasil: reconhecimento e primeiros socorros, 368

Testes, 371

Questões discursivas, 373

CAPÍTULO 26

Sustentação, digestão e respiração, 374

1. Noções gerais, 374
2. Sustentação e locomoção: sistemas esquelético e muscular, 374
3. Digestão: sistema digestório, 376
4. Respiração: sistema respiratório, 382

Questões para estudo, 386

Texto para discussão – Fumar ou não, eis a questão, 387

Testes, 388

Questões discursivas, 389

CAPÍTULO 27

Circulação, mecanismos de defesa, excreção, 391

1. Circulação: sistema cardiovascular, 391
2. Mecanismos de defesa, 397
3. Excreção, 399

Questões para estudo, 402

Texto para discussão – Doenças cardiovasculares, 403

Testes, 404

Questões discursivas, 405

CAPÍTULO 28

Coordenação e regulação, 407

1. Noções gerais, 407
2. Sistema nervoso, 407
3. Sistema sensorial, 410

4. Sistema endócrino, 412

Questões para estudo, 414

Texto para discussão – Drogas:
você sabe como entra, nunca
como sai, 415

Testes, 417

Questões discursivas, 418



UNIDADE 5

Genética

CAPÍTULO 29

Visão histórica da Genética, 420

1. Introdução, 420
2. Cromossomos e genes, 420
3. A natureza química do material genético, 421
4. O que são e como atuam os genes, 422
5. Biotecnologia, 425

Questões para estudo, 426

Texto para discussão – Genoma – o
que é e o que tem sido feito, 426

Testes, 427

Questões discursivas, 429

CAPÍTULO 30

A Primeira lei de Mendel e noções de probabilidade, 430

1. Introdução, 430
2. Uma das experimentações de Mendel e a Primeira lei, 430
3. A relação entre meiose e Primeira lei, 432
4. Alguns conceitos fundamentais em Genética, 433
5. Noções de probabilidade, 435
6. Probabilidade e Primeira lei, 437
7. Cruzamento-teste e retrocruzamento, 438
8. Genealogias ou heredogramas, 439
9. Probabilidade condicional, 439
10. Modificações nas proporções fenotípicas mendelianas do monohibridismo, 441

Questões para estudo, 444

Texto para discussão – Dilemas
éticos, 445

Testes, 447

Questões discursivas, 448

CAPÍTULO 31

A Segunda lei de Mendel e a herança dos grupos sangüíneos, 450

1. Uma das experimentações de Mendel, 450
2. Segunda lei e probabilidade, 451

3. A relação entre meiose e

Segunda lei, 451

4. Calculando os tipos de gametas
de acordo com a Segunda lei, 452

5. Aplicando a Segunda lei, 452

6. A herança dos grupos sangüíneos
do sistema ABO, 453

7. A herança do grupo sangüíneo
do sistema Rh, 454

8. Transfusão de sangue, 454

9. A herança do grupo sangüíneo
do sistema MN, 455

10. A análise concomitante da heran-
ça dos três sistemas de grupos
sangüíneos:
um caso de tribridismo, 456

Questões para estudo, 456

Texto para discussão – Falso O – o
efeito Bombaim, 457

Testes, 459

Questões discursivas, 460

CAPÍTULO 32

Pleiotropia, interação gênica e herança quantitativa, 462

1. Introdução, 462
2. Pleiotropia, 462
3. Interação gênica, 462
4. Herança quantitativa, 464

Questões para estudo, 466

Texto para discussão – Alguns exem-
plos de pleiotropia na espécie
humana, 467

Testes, 468

Questões discursivas, 470

CAPÍTULO 33

Genes ligados, permutações e mapas genéticos, 471

1. Genes ligados, 471
2. Permutação e segregação
independente, 472
3. Um dos experimentos de
Morgan, 473
4. Mapas genéticos, 474

Questões para estudo, 475

Texto para discussão – Genes
ligados e mutações estruturais, 475

Testes, 477

Questões discursivas, 478

CAPÍTULO 34

Hereditariedade e cromossomos sexuais, 480

1. Determinação genética
do sexo, 480
2. O sistema XY, 480
3. Anomalias relacionadas aos
cromossomos sexuais na
espécie humana, 481
4. A cromatina sexual, 482
5. O sistema XO, 482
6. O sistema ZW, 483
7. O sistema ZO, 483
8. Sistemas de determinação do
sexo que não envolvem
cromossomos sexuais, 483
9. Genes localizados nos
cromossomos sexuais, 484
10. Outros mecanismos de herança
relacionada ao sexo, 486

Questões para estudo, 487

Texto para discussão – Anomalias
relacionadas ao sexo em seres
humanos, 488

Testes, 489

Questões discursivas, 490

CAPÍTULO 35

Biotecnologia, 492

1. Introdução, 492
2. Enzimas de restrição, 492
3. Identificação de pessoas, 493
4. O mapeamento dos genes nos
cromossomos, 494
5. DNA recombinante e
organismos transgênicos, 495
6. Clonagem de DNA, 496
7. Clonagem de organismos
multicelulares, 497
8. Programas de triagem populacio-
nal ou *screening* genético, 499
9. Terapia gênica, 499
10. Vacinas gênicas, 499
11. Recuperação de espécies em
extinção, 499

Questões para estudo, 500

Texto para discussão – Aconselha-
mento genético e diagnóstico
pré-natal, 500

Testes, 502

Questões discursivas, 504



UNIDADE 6

Evolução

CAPÍTULO 36

Evolução – teorias e evidências, 506

1. O pensamento evolutivo, 506
2. Evidências evolutivas, 506
3. As idéias de Lamarck, 509
4. A Teoria da seleção natural, 510
5. A Teoria sintética da evolução, 512

Questões para estudo, 516

Texto para discussão – O tempo geológico e o relógio molecular, 516

Testes, 517

Questões discursivas, 518

CAPÍTULO 37

Genética de populações e especiação, 520

1. Introdução, 520
2. Frequências gênicas e frequências genotípicas, 520
3. Teorema de Hardy-Weinberg, 521
4. Gradualismo e equilíbrio pontuado, 521

5. Anagênese e cladogênese, 522

6. Especiação por isolamento geográfico, 523

7. Os mecanismos de isolamento reprodutivo, 524

8. Evolução humana, 524

Questões para estudo, 532

Texto para discussão – Seleção artificial e melhoramento genético, 532

Testes, 533

Questões discursivas, 534



UNIDADE 7

Ecologia

CAPÍTULO 38

Ecologia: introdução, fluxo de energia e ciclo da matéria, 536

1. A Ecologia e sua importância, 536
2. Os componentes estruturais de um ecossistema, 536
3. Cadeia e rede alimentar, 539
4. Os níveis tróficos, 540
5. Hábitat e nicho ecológico, 540
6. Fluxo de energia e ciclo da matéria, 541

Questões para estudo, 547

Texto para discussão – A carta do chefe indígena, 548

Testes, 550

Questões discursivas, 551

CAPÍTULO 39

Relações entre os seres vivos de uma comunidade e ecologia da população, 552

1. Introdução, 552
2. Relações intra-específicas, 552
3. Relações interespecíficas, 552
4. Ecologia das populações, 554

Questões para estudo, 558

Texto para discussão – Um exemplo real de desequilíbrio ecológico, 558

Testes, 559

Questões discursivas, 560

CAPÍTULO 40

Sucessão ecológica e biomas, 562

1. A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica, 562
2. Biomas, 563
3. Fitogeografia do Brasil, 566

4. As principais regiões faunísticas da Terra, 568

Questões para estudo, 569

Texto para discussão – Brasil: quinhentos anos de desmatamento, 569

Testes, 570

Questões discursivas, 572

CAPÍTULO 41

Quebra do equilíbrio ambiental, 573

1. Introdução, 573
2. Alterações bióticas, 573
3. Alterações abióticas, 574

Questões para estudo, 580

Texto para discussão – Peixe-boi: mamífero aquático ameaçado de extinção, 580

Testes, 582

Questões discursivas, 585

UNIDADE 1

Keystock



**Introdução à Biologia
e origem da vida**

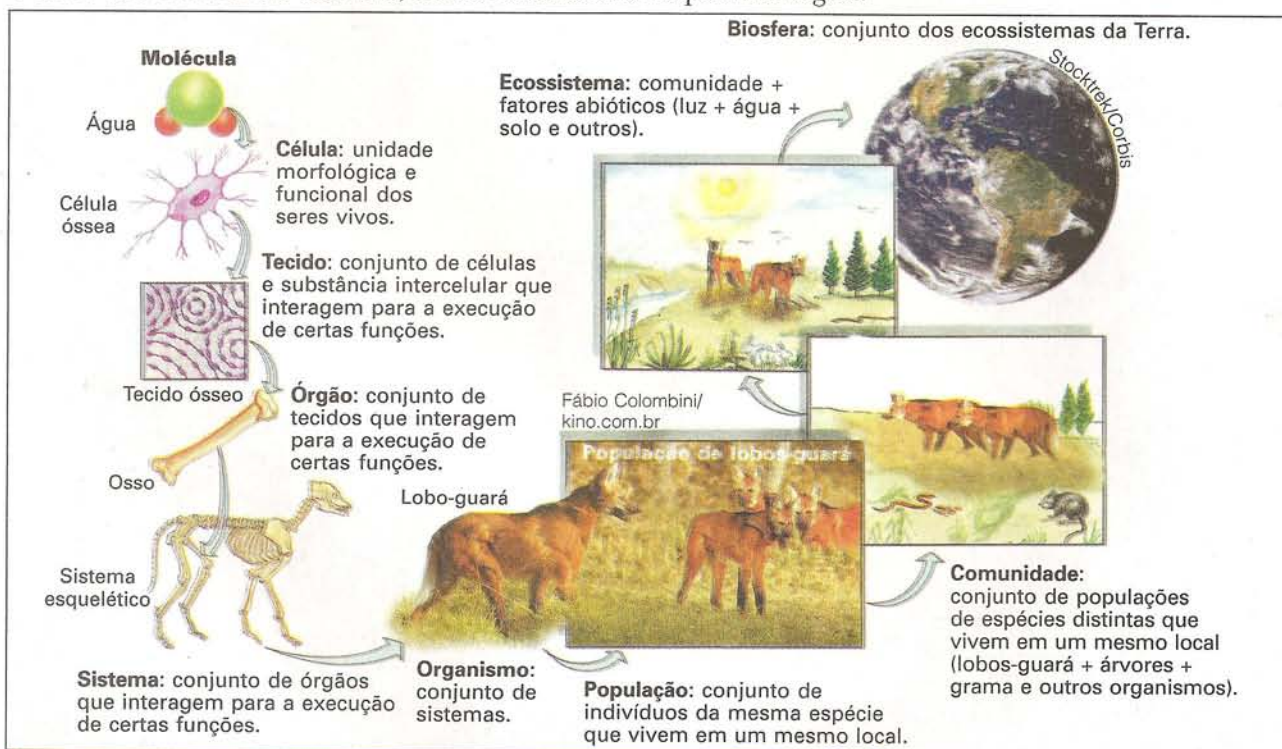
Biologia: visão geral e origem da vida

1. O que é Biologia

A palavra biologia deriva de duas outras: *bio*, que significa vida, e *logos*, que significa estudo. Assim, biologia significa “estudo da vida”.

A Biologia é uma ciência muito ampla, que se preocupa com o estudo de todos os seres vivos e procura compreender os mecanismos que regem a vida.

O estudo dessa ciência pode ser feito em vários níveis de organização dos seres vivos, desde o molecular — analisando as moléculas que formam o corpo dos organismos — até o das relações entre os seres vivos, e entre eles e o mundo não-vivo, como resumido no esquema a seguir.



Esquema dos níveis de organização dos seres vivos (elementos representados fora de proporção; cores-fantasia na molécula, na célula, no tecido, no órgão e no sistema).

A Biologia também procura explicar o aparecimento das primeiras formas vivas na Terra e como ocorreram, ao longo do tempo, as transformações que deram origem às formas existentes hoje no nosso planeta. Preocupa-se, portanto, com a origem e a evolução dos seres vivos. É importante observar que a evolução é um processo que continua a ocorrer nos dias de hoje.

Uma das áreas da Biologia, a Sistemática, preocupa-se justamente em compreender as relações

evolutivas dos seres vivos, agrupando os que apresentam uma história evolutiva em comum. Também é alvo de estudos da Biologia a evolução do ser humano. Quando a espécie humana surgiu na Terra, suas atividades tinham pouco impacto no meio ambiente, mas à medida que foi evoluindo, passou a interferir cada vez mais no meio.

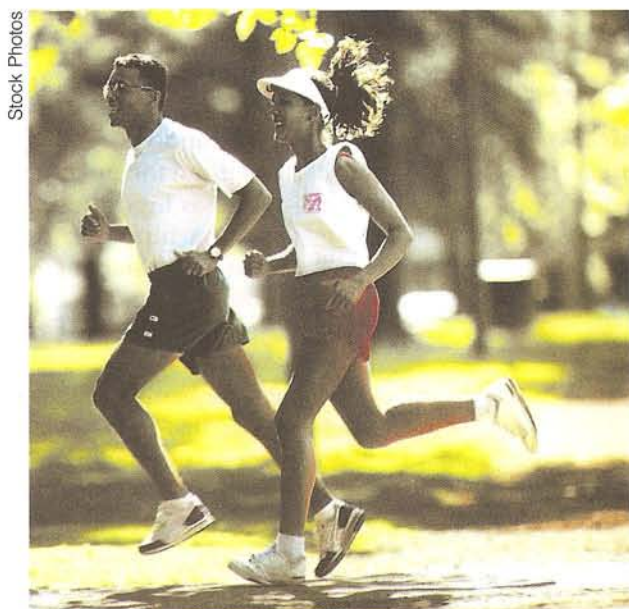
A evolução da espécie humana veio acompanhada de complexa evolução cultural e tecnológica, o que não aconteceu com outras espécies de seres vivos. Nenhuma outra espécie evoluiu de modo que

produzisse conhecimentos. Somente o ser humano é capaz de desenvolver, por exemplo, técnicas de melhoramento genético de espécies de interesse comercial que visam à melhoria do cultivo e ao aproveitamento de animais e plantas.

O ser humano já interferiu e continua a interferir profundamente na natureza. Infelizmente, essa interferência tem trazido impactos ambientais cada vez mais preocupantes. A explosão populacional, associada ao aumento do consumo e ao mau uso dos recursos naturais, tem transformado perigosamente o nosso planeta. Produtos químicos lançados de modo indiscriminado no meio têm contaminado o solo, a água, o ar, prejudicando a delicada inter-relação que existe entre todos os seres vivos. Como resultado, estamos enfrentando muitos problemas ambientais críticos.

O conhecimento dos princípios biológicos pode ser a chave para a sobrevivência da espécie humana e, obviamente, da vida na Terra.

O entendimento dos princípios biológicos pode nos ajudar a lidar de modo mais inteligente com uma grande quantidade de temas relacionados com o nosso bem-estar. Podemos, por exemplo, cuidar de nossa saúde, adquirindo noções de nutrição e de higiene, desenvolvendo hábitos saudáveis, como o de não fumar e o de não usar outras drogas perniciosas; podemos entender o problema do lixo urbano e contribuir para sua solução etc. Esses são alguns dos pontos que exemplificam a importância da Biologia em nosso dia-a-dia. O estudo da Biologia irá também nos mostrar a enorme diversidade de formas vivas que existe no nosso planeta e fazer com que venhamos a respeitar todas elas e a nós mesmos.



Estudar Biologia nos ajuda a entender a importância de ter uma vida saudável.

2. As áreas de estudo da Biologia

Existe enorme diversidade de seres vivos em nosso planeta. As técnicas para estudá-los têm sido cada vez mais aprimoradas, gerando não só conhecimentos novos, como também reformulações de conceitos já estabelecidos. Com isso, aumentam a cada dia as informações sobre os seres vivos, resultando na subdivisão da Biologia em áreas de especialização. Em cada área, os pesquisadores concentram esforços buscando entender melhor os complexos mecanismos que regem o mundo vivo.

No entanto, é importante frisar que essas subdivisões não são compartimentos estanques, havendo grande inter-relacionamento entre elas. Muitas

vezes os conhecimentos de uma área são necessários para a melhor compreensão de certos aspectos de outras áreas, como a Bioquímica e a Biofísica, que necessitam do conhecimento de Química e Física, respectivamente. A Matemática também é muito importante para a Biologia, especialmente em áreas como a Genética, a Evolução e a Ecologia.

Vamos resumidamente mencionar aqui algumas das principais subdivisões da Biologia e seus objetivos de estudo:

- **Anatomia:** estuda a estrutura e a forma de células, tecidos, órgãos ou sistemas.
- **Botânica:** estuda as plantas.

- **Citologia:** estuda a célula, tanto sob o ponto de vista estrutural (morfológico ou anatômico) quanto sob o funcional (fisiológico). A Citologia envolve muitos aspectos de Biologia molecular e de Bioquímica.
- **Ecologia:** estuda as relações dos seres vivos entre si e com o meio ambiente.
- **Embriologia:** estuda a formação e o desenvolvimento dos organismos.
- **Evolução:** estuda os possíveis mecanismos pelos quais os seres vivos sofreram e ainda sofrem modificações, dando origem a espécies novas.
- **Fisiologia:** estuda o funcionamento de células, tecidos, órgãos e sistemas.
- **Genética:** estuda a natureza química do material hereditário, os mecanismos de sua transmissão ao longo das gerações e os modos de ação desse material.
- **Histologia:** estuda os tecidos sob os pontos de vista estrutural e fisiológico.
- **Micologia:** estuda os fungos.
- **Microbiologia:** estuda os microrganismos.
- **Paleontologia:** estuda os fósseis, que são registros da presença de seres vivos em épocas remotas da Terra; eles possibilitam a reconstrução da história da vida no planeta.
- **Protistologia:** estuda os protistas.
- **Taxonomia e Sistemática:** estudam as prováveis relações de parentesco entre os seres vivos, classificando-os em grupos de acordo com suas semelhanças.
- **Zoologia:** estuda os animais.

3. O método científico

A Biologia, como toda ciência, busca respostas e interpretações para o que ocorre na natureza, ou seja, para os fatos. A própria palavra ciência deriva do latim e significa conhecer, saber.

Essa busca do saber, do conhecer, entretanto, tem que ser feita com critério, e esse critério é o **método científico**.

Os cientistas são pessoas que fazem ciência e, como regra, têm grande capacidade de observação e grande desejo de saber o porquê das coisas. São, assim, grandes curiosos da natureza.

Observar é fundamental para se fazer ciência. Os cientistas começam suas investigações dessa maneira. Observam criticamente os fatos e fazem

perguntas sobre eles, buscando entendê-los. Depois de feita a pergunta, procuram formular possíveis respostas. Essas respostas são as hipóteses.

Ao formularem uma hipótese, os cientistas procuram reunir várias informações disponíveis sobre o assunto. Uma vez levantada a hipótese, eles fazem uma dedução: prevêem o que pode acontecer se a hipótese for verdadeira.

Essa dedução é testada mediante novas observações ou experimentações. Isso permite que se tirem conclusões a respeito das deduções. Se confirmadas, elas são aceitas; se não confirmadas, são rejeitadas e novas hipóteses são formuladas para serem testadas.

Etapas do método científico

1. **Observação:** análise crítica dos fatos.
2. **Questionamento:** elaboração de uma pergunta ou identificação de um problema a ser resolvido.
3. **Formulação de hipótese:** possível resposta a uma pergunta ou solução potencial de um problema. Uma hipótese científica é feita com base em conhecimentos disponíveis a respeito do assunto.
4. **Realização de dedução:** previsão possível baseada na hipótese.
5. **Experimentação:** teste da dedução ou novas observações para testar a dedução. Ao se realizar a experimentação, deve-se trabalhar com um grupo:
 - **experimental:** aquele em que se promove alteração em um fator a ser testado, deixando todos os demais fatores sem alteração;
 - **controle:** que é submetido aos fatores sem nenhuma alteração. Assim, pode-se testar um fator por vez e comparar os resultados obtidos no grupo experimental com o que foi obtido no grupo controle. Ocorrendo diferenças entre os resultados do grupo experimental e do controle, elas são atribuídas ao fator que está sendo testado. Não ocorrendo diferenças, pode-se dizer que o fator analisado não interfere no processo em estudo.

Experimentos não se constituem, no entanto, no único caminho para se testarem hipóteses. Elas também podem ser testadas pela simples observação ou pela análise da consistência de sua lógica interna. O uso da

Matemática tem permitido a realização de testes equivalentes aos da experimentação, baseados apenas na observação.

6. **Conclusão:** etapa em que se aceita ou se rejeita uma hipótese.
7. **Divulgação:** descrição de hipóteses, experimentos, dados e discussões de modo que outros cientistas possam repetir o que foi feito, pensar sobre as conclusões que foram tiradas e usar as informações como ponto de partida para novas hipóteses e testes. Os cientistas compartilham informações por meio de publicações (as chamadas revistas científicas), encontros, congressos e comunicações pessoais.

Se uma hipótese for confirmada por grande número de experimentações, então ela pode se tornar **teoria**, embora nunca seja considerada verdade absoluta.

Um aspecto importante da ciência é que os conhecimentos científicos mudam sempre, e com base no método científico novas teorias são formuladas, muitas vezes substituindo outras anteriormente aceitas. Uma teoria pode ser mudada frente a novas descobertas. A teoria é um conjunto de conhecimentos mais amplos que procura explicar fenômenos

abrangentes da natureza, como é o caso da Teoria da Gravitação Universal, que procura explicar os movimentos dos corpos com base na força da gravidade.

Um importante biólogo americano, Stephen J. Gould (1941-2002), escreveu: “Os fatos são os dados do mundo. As teorias são estruturas que explicam e interpretam os fatos. Os fatos continuam a existir enquanto os cientistas debatem teorias rivais para explicá-los. A Teoria da Gravitação Universal de Einstein tomou o lugar da de Newton, mas as maçãs não ficaram suspensas no ar, aguardando o resultado”.

O método científico no cotidiano

O método científico pode ser aplicado em várias situações de nosso dia-a-dia. Vamos dar aqui apenas um exemplo, mas você pode citar muitos outros.

Suponhamos a seguinte situação: o carro pára de funcionar no meio da rua.

Esse é um fato que ocorreu e que observamos. Agora, usando o método científico, vamos tentar entender por que o carro parou.

- **Pergunta ou questionamento:** O que será que causou isso?
- **Hipótese:** A gasolina deve ter acabado.
- **Verificação da hipótese:** Observar o marcador de combustível e verificar quantos quilômetros o carro percorreu desde a última vez em que o tanque de combustível foi abastecido.
O marcador está no zero, e o carro percorreu quilômetros suficientes para o combustível ter acabado. Coloca-se combustível e o carro começa a funcionar.
- **Conclusão:** A hipótese foi corroborada: a gasolina havia acabado.

4. O objeto de estudo da Biologia: os seres vivos

Biologia é o estudo da vida. Mas o que é vida?

Definir vida não é simples, mas podemos definir o que é um ser vivo. Assim, a Biologia passa a ser a ciência que estuda os seres vivos.

Várias são as listas de características que os cientistas apresentam para definir um ser vivo, e essas listas muitas vezes diferem entre si.

Uma caracterização mais geral tem sido feita por alguns pesquisadores:

Seres vivos são entidades que apresentam as propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade.

Podemos usar essa caracterização mais geral ou adotar uma das listas de características, como a seguinte.

Os seres vivos:

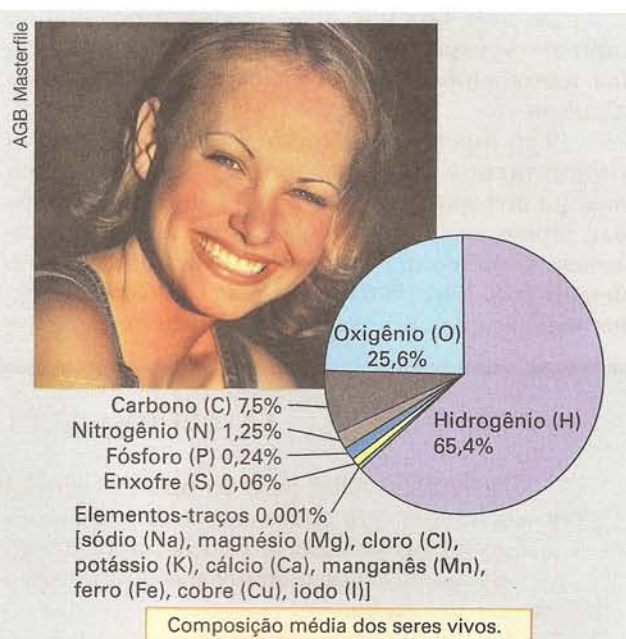
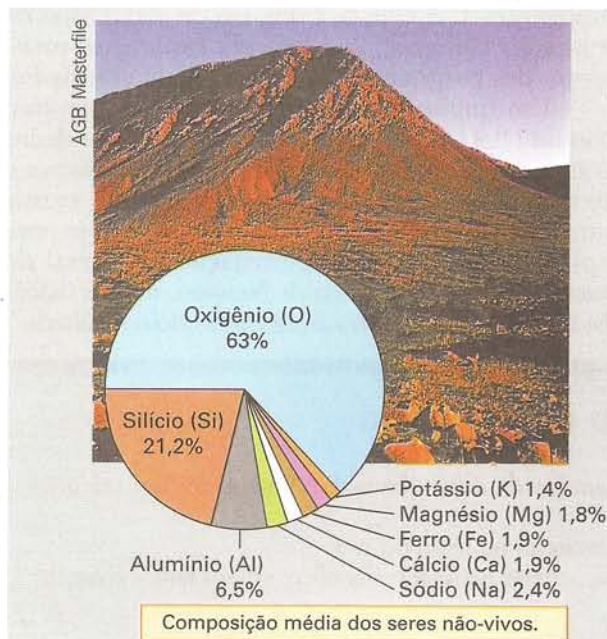
- são formados por uma ou mais células;
- podem se reproduzir;
- apresentam crescimento;
- possuem metabolismo (conjunto de reações químicas que ocorrem no corpo dos seres vivos e que são responsáveis pela transformação e utilização da matéria e da energia);
- respondem a estímulos do meio;
- evoluem;
- possuem composição química do corpo com predominância dos elementos químicos hidrogênio (H), oxigênio (O), carbono (C) e nitrogênio (N). Esses elementos formam moléculas complexas chamadas **moléculas orgânicas**.

A associação entre o hidrogênio, o oxigênio e o carbono forma os **carboidratos** (como a glicose e o amido) e os **lipídios** (como as gorduras); a associação entre o hidrogênio, o oxigênio, o carbono, o nitrogênio e outros elementos químicos origina as **proteínas** e os **ácidos nucleicos**.

Existem dois tipos de ácido nucleico: o **DNA** (ácido desoxirribonucleico) e o **RNA** (ácido ribonucleico). Os ácidos nucleicos contêm as informa-

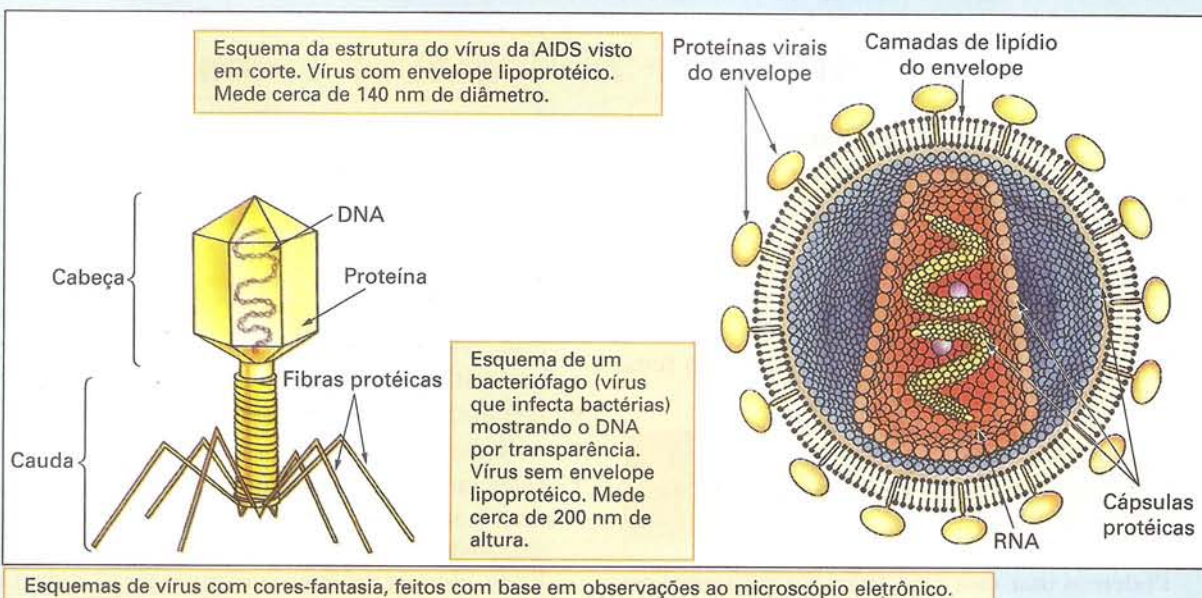
ções genéticas responsáveis pelas características dos seres vivos, desde os estruturalmente mais simples até os mais complexos.

Na matéria **não-viva**, os elementos químicos mais abundantes estão representados pelo oxigênio (O), pelo silício (Si) e pelo alumínio (Al), como mostra a figura a seguir, que compara a composição química média do corpo dos seres vivos com a dos seres inanimados:



Os elementos presentes na matéria não-viva podem se organizar, mas não chegam a formar moléculas tão complexas como as moléculas orgânicas que ocorrem nos seres vivos. Além dessas substâncias orgânicas, nos seres vivos existem substâncias chamadas **inorgânicas**, representadas principalmente pela água e pelos sais minerais. Essas substâncias também estão presentes na matéria não-viva.

E os vírus? São seres vivos?



Esta é uma questão ainda polêmica nos meios científicos. Alguns cientistas consideram os vírus como partículas com capacidade de infectar um ser vivo. Outros os consideram formas particulares de vida, que só adquirem manifestações vitais dentro de uma célula hospedeira.

Os vírus não são formados por células e conseguem se reproduzir apenas no interior de uma célula. Como regra geral, prejudicam o funcionamento celular e por isso são considerados parasitas intracelulares.

Neste livro vamos considerar os vírus como formas particulares de vida, pois possuem ácidos nucleicos e são capazes de se multiplicar e sofrer mudanças em seu material genético ao longo do tempo.

5. A origem dos seres vivos

Passaremos a comentar, agora, a origem de nosso objeto de estudo: os seres vivos. Para isso, precisamos entender como deve ter sido o nosso planeta desde a sua formação.

A Terra formou-se há cerca de 4,5 bilhões de anos. Sua superfície inicialmente era constituída por magma quente. As rochas teriam se formado a seguir, com o resfriamento da superfície do nosso planeta. As rochas mais antigas de que se tem conhecimento datam de 3,9 bilhões de anos e nelas não se encontraram registros de vida.

Os primeiros indícios da existência de seres vivos em eras geológicas passadas datam de 3,5 bilhões de anos. Um bilhão de anos teriam se passado desde a origem do nosso planeta. Durante esse período, modificações importantes teriam surgido nas condições ambientais, possibilitando o aparecimento da vida.

Como teria sido, então, a origem dos primeiros seres vivos e como teriam esses seres evoluído e gerado a imensa diversidade de formas vivas que habitam hoje o nosso planeta?

Essa questão não é simples, pois não é possível retroceder no tempo e ver como a vida se originou.

Desde a Antiguidade essa questão preocupa o ser humano. Vamos ver neste capítulo como os cientistas interpretaram e até hoje procuram interpretar a origem da vida.

David Hardy/SPL



Reconstituição artística da provável condição do ambiente da Terra há cerca de 4 bilhões de anos.

6. Geração espontânea ou abiogênese

Até meados do século XIX os cientistas acreditavam que os seres vivos eram gerados espontaneamente a partir da matéria bruta. Acreditavam que vermes surgiam espontaneamente do corpo de cadáveres em decomposição; que rãs, cobras e crocodilos eram gerados a partir do lodo dos rios.

Essa interpretação sobre a origem dos seres vivos ficou conhecida como **hipótese da geração**

espontânea ou **da abiogênese** (*a* = prefixo de negação, *bio* = vida, *genesis* = origem; origem da vida a partir da matéria bruta).

Pesquisadores passaram, então, a contestar a hipótese da geração espontânea, apresentando argumentos favoráveis à outra hipótese, a da **biogênese**, segundo a qual os seres vivos originam-se de outros seres vivos preexistentes.

7. Biogênese versus abiogênese

7.1. Os experimentos de Redi

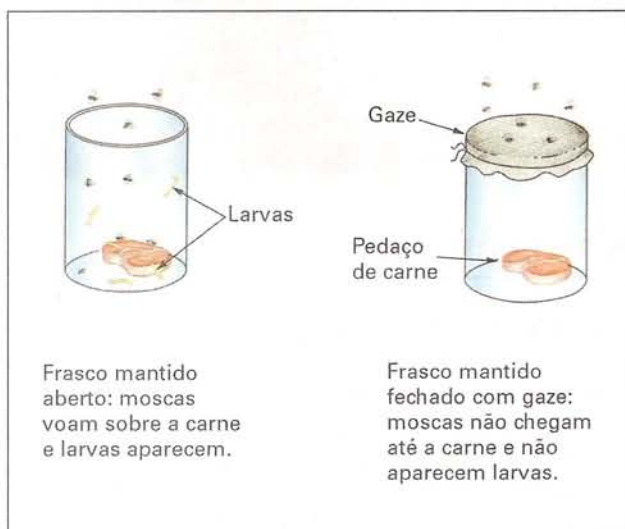


Francesco Redi.

Em 1668, Francesco Redi (1626-1697) investigou a suposta origem de vermes em corpos em decomposição. Ele observou que moscas são atraídas pelos corpos em decomposição e neles colocam seus ovos. Desses ovos surgem as larvas, que se transformam em moscas adultas. Como as larvas são vermiformes, os “vermes” que ocorrem nos

cadáveres em decomposição nada mais seriam que larvas de moscas. Redi concluiu, então, que essas larvas não surgem espontaneamente a partir da decomposição de cadáveres, mas são resultantes da eclosão dos ovos postos por moscas atraídas pelo corpo em decomposição.

Para testar sua hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: colocou pedaços de carne crua dentro de frascos, deixando alguns cobertos com gaze e outros completamente abertos. De acordo com a hipótese da abiogênese, deveriam surgir vermes ou mesmo moscas nascidos da decomposição da própria carne. Isso, entretanto, não aconteceu. Nos frascos mantidos abertos verificaram-se ovos, larvas e moscas sobre a carne, mas nos frascos cobertos com gaze nenhuma dessas formas foi encontrada sobre a carne. Esse experimento confirmou a hipótese de Redi e comprovou que não havia geração espontânea de vermes a partir de corpos em decomposição.



Frasco mantido aberto: moscas voam sobre a carne e larvas aparecem.

Gaze
Pedaço de carne

Frasco mantido fechado com gaze: moscas não chegam até a carne e não aparecem larvas.

Esquema dos resultados do experimento de Redi.

Os experimentos de Redi conseguiram reforçar a hipótese da biogênese até a descoberta dos seres microscópicos, quando uma parte dos cientistas passou novamente a considerar a hipótese da abiogênese para explicar a origem desses seres. Segundo esses cientistas, os microrganismos surgem espontaneamente em todos os lugares, independentemente da presença de outro ser vivo. Já outro grupo de pesquisadores não aceitava essas explicações. Para eles os microrganismos somente surgiam a partir de “sementes” presentes no ar, na água ou no solo. Essas “sementes”, ao encontrarem locais adequados, proliferavam (interpretação coerente com a hipótese da biogênese).

7.2. Os experimentos de Needham e Spallanzani



John T. Needham.



Lazzaro Spallanzani.

Em 1745, o cientista inglês John T. Needham (1713-1781) realizou vários experimentos em que submetia à fervura frascos contendo substâncias nutritivas. Após a fervura, fechava os frascos com rolhas e deixava-os em repouso por alguns dias. Depois, ao examinar essas soluções ao microscópio, Needham observava a presença de microrganismos.

A explicação que ele deu a seus resultados foi de que os microrganismos teriam surgido por geração espontânea. Ele dizia que a solução nutritiva continha uma “força vital” responsável pelo surgimento das formas vivas.

Posteriormente, em 1770, o pesquisador italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) repetiu os experimentos de Needham, com algumas modificações, e obteve resultados diferentes.

Spallanzani colocou substâncias nutritivas em balões de vidro, fechando-os hermeticamente. Esses balões assim preparados eram colocados em caldeirões com água e submetidos à fervura durante algum tempo. Deixava resfriar por alguns dias e então ele abria os frascos e observava o líquido ao microscópio. Nenhum organismo estava presente.

Spallanzani explicou que Needham não havia fervido sua solução nutritiva por tempo suficientemente longo para matar todos os microrganismos existentes nela e, assim, esterilizá-la. Needham respondeu a essas críticas dizendo que, ao ferver por muito tempo as substâncias nutritivas em recipientes hermeticamente fechados, Spallanzani havia destruído a “força vital” e tornado o ar desfavorável ao aparecimento da vida. Nessa polêmica, Needham saiu fortalecido.

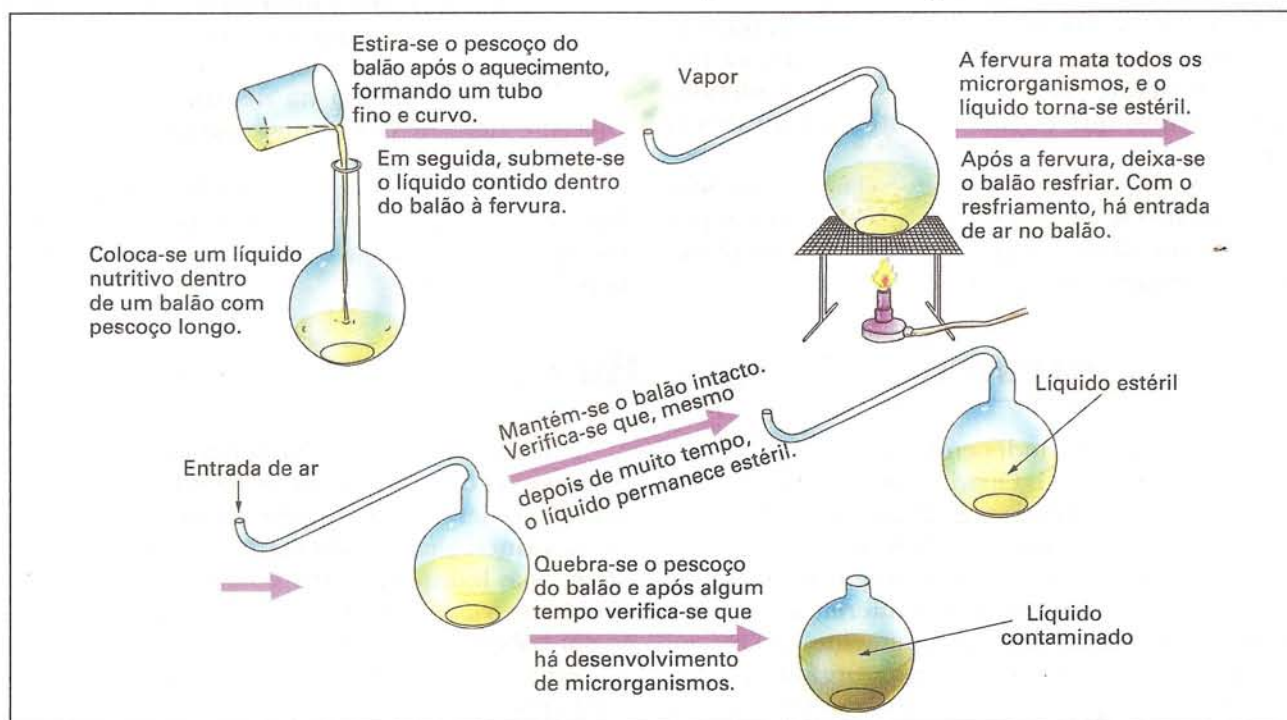
7.3. Os experimentos de Pasteur



Louis Pasteur em seu laboratório, mostrando um balão com líquido esbranquiçado, que corresponde ao contaminado, e outro com líquido transparente, que corresponde ao estéril.

Somente por volta de 1860, com os experimentos realizados por **Louis Pasteur** (1822-1895), conseguiu-se comprovar definitivamente que os microrganismos surgem a partir de outros preexistentes.

Os experimentos de Pasteur estão descritos e esquematizados na figura abaixo:



Esquema resumindo as experimentações de Pasteur.

A ausência de microrganismos nos frascos do tipo “pescoço de cisne” mantidos intactos e a presença deles nos frascos cujo “pescoço” havia sido quebrado mostram que o ar contém microrganismos e que estes, ao entrarem em contato com o líquido nutritivo e estéril do balão, desenvolvem-se. No balão intacto, esses microrganismos não conseguem chegar até o líquido nutritivo e estéril, pois ficam retidos no “filtro” formado pelas gotículas de água surgidas no pescoço do balão durante o resfriamento. Já nos frascos em que o pescoço é quebrado, esse “filtro” deixa de existir, e os micróbios presentes no ar podem entrar em contato com o líquido nutritivo, onde encontram condições adequadas para seu desenvolvimento e proliferam.

A hipótese da biogênese passou, a partir de então, a ser aceita universalmente pelos cientistas.

8. Hipóteses sobre a origem da vida

A aceitação da hipótese da biogênese gerou novo questionamento: se todos os seres vivos surgem de outros preexistentes, como foi que surgiu o primeiro?

Para responder a essa pergunta, temos de tomar a história da evolução de nosso planeta, contada de modo resumido anteriormente. Nosso planeta não surgiu apresentando as mesmas condições ambientais que temos hoje, mas sim condições muito distintas. Segundo os registros encontrados nas rochas, foram necessários cerca de 1 bilhão de anos para que as condições ambientais se tornassem propícias ao aparecimento da vida.

Como, então, teriam surgido os primeiros seres vivos nas condições ambientais de nosso planeta há cerca de 3,5 bilhões de anos?

Pelo menos três possibilidades têm sido levantadas para responder a essa pergunta:

a) Origem extraterrestre (panspermia)

Os seres vivos não se originaram na Terra, mas em outros planetas, e foram trazidos para cá por meio de esporos ou formas de resistência, aderidos a meteoritos, que caíram e continuam a cair em nosso planeta.

Essa hipótese não é muito esclarecedora, pois, se a vida não se formou na Terra, mas em outro planeta, como foi que surgiu a vida nesse outro planeta? Continuamos sem resposta.

Nos meteoritos que caem atualmente na superfície terrestre, têm sido encontradas algumas moléculas orgânicas, indicando que a formação dessas moléculas no Universo é mais comum do que se imaginava. Isso pode nos dar um indício de que há vida em outros planetas.

b) Origem por criação divina (criacionismo)

Essa é a mais antiga de todas as idéias sobre a origem da vida e tem um forte cunho religioso, sendo até hoje aceita por fiéis de várias religiões. Essa corrente afirma que os seres vivos foram criados individualmente por uma divindade e que desde então possuem a mesma forma com que foram criados. Eles não mudam ao longo do tempo: é o que se chama de imutabilidade das espécies.

c) Origem por evolução química

Os cientistas afirmam que a vida deve ter surgido da matéria inanimada, com associações entre as moléculas, formando substâncias cada vez mais complexas, que acabaram se organizando de modo a originar os primeiros seres vivos. Essa hipótese foi inicialmente levantada na década de 1920 por Oparin e Haldane e vem sendo apoiada por outros pesquisadores.

Discutiremos com mais detalhes apenas esta hipótese, também conhecida por hipótese da evolução gradual dos sistemas químicos, que é a mais aceita pelos cientistas.

9. A hipótese de Oparin e Haldane

Trabalhando independentemente, o cientista russo Aleksander I. Oparin (1894-1980) e o cientista inglês John Burdon S. Haldane (1892-1964) propuseram, na década de 1920, hipóteses semelhantes sobre como a vida teria se originado na Terra. Apesar de existirem pequenas diferenças entre as hipóteses desses cientistas, basicamente eles propuseram que os primeiros seres vivos surgiram a partir de moléculas orgânicas que teriam se formado na atmosfera primitiva e depois nos oceanos, a partir de substâncias inorgânicas.

Vamos, de modo simplificado, apresentar uma síntese dessas idéias: as condições da Terra antes do surgimento dos primeiros seres vivos eram muito diferentes das atuais. As erupções vulcânicas eram muito abundantes, liberando grande quantidade de gases e de partículas para a atmosfera. Esses gases e partículas ficaram retidos por ação da força da gravidade e passaram a compor a atmosfera primitiva.

Embora ainda não exista um consenso sobre a composição da atmosfera primitiva, muitos cientistas consideram que provavelmente ela era composta principalmente de metano (CH_4), amônia (NH_3), gás hidrogênio (H_2) e vapor d'água (H_2O). Não havia o gás oxigênio (O_2) ou ele estava presente em baixíssima concentração; por isso se fala em ambiente redutor. Nessa época, a Terra estava passando por um processo de resfriamento, que permitiu o acúmulo de água nas depressões da sua crosta, formando os mares primitivos.

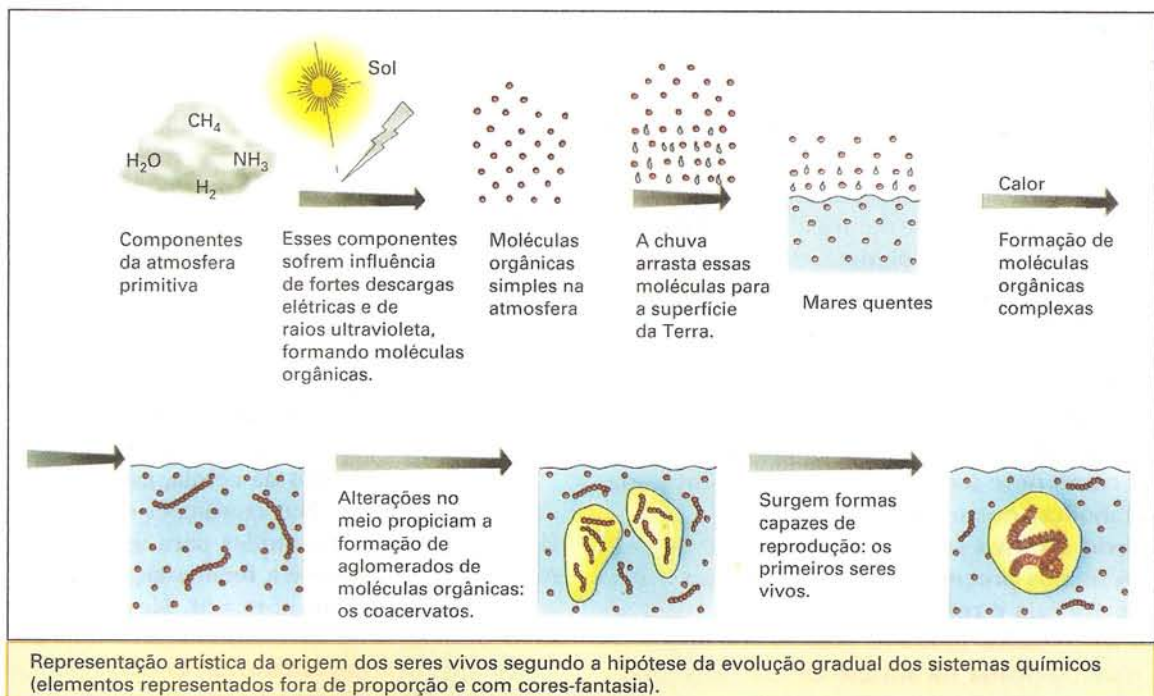
As descargas elétricas e as radiações eram intensas e teriam fornecido energia para que algumas moléculas presentes na atmosfera se unissem, dando origem a moléculas maiores e mais complexas: as primeiras moléculas orgânicas. É importante lembrar que na atmosfera daquela época, diferentemente do que ocorre hoje, não havia o escudo de ozônio (O_3) contra as radiações, especialmente a ultravioleta, que, assim, atingiam a Terra com grande intensidade.

As moléculas orgânicas formadas eram arrastadas pelas águas das chuvas e passavam a se acumular nos mares primitivos, que eram quentes e rasos. Esse processo, repetindo-se ao longo de muitos anos, teria transformado os mares primitivos em verdadeiras “sopas nutritivas”, ricas em matéria orgânica. Essas moléculas orgânicas poderiam ter-se agregado, formando **coacervatos**, nome derivado do latim *coacervare*, que significa formar grupos. No caso, o sentido de coacervatos é o de conjuntos de moléculas orgânicas reunidas em grupos envoltos por moléculas de água.

Esses coacervatos não eram seres vivos, mas uma primitiva organização das substâncias orgânicas em um sistema semi-isolado do meio, podendo

trocar substâncias com o meio externo e havendo possibilidade de ocorrerem inúmeras reações químicas em seu interior.

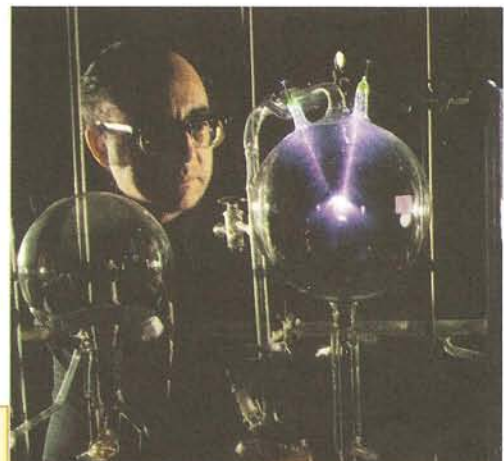
Não se sabe como a primeira célula surgiu, mas pode-se supor que, se foi possível o surgimento de um sistema organizado como os coacervatos, podem ter surgido sistemas equivalentes, envoltos por uma membrana formada por lipídios e proteínas e contendo em seu interior a molécula de ácido nucléico. Com a presença do ácido nucléico, essas formas teriam adquirido a capacidade de reprodução. Nesse momento teriam surgido os primeiros seres vivos que, apesar de muito primitivos, eram capazes de se reproduzir, dando origem a outros seres semelhantes a eles.



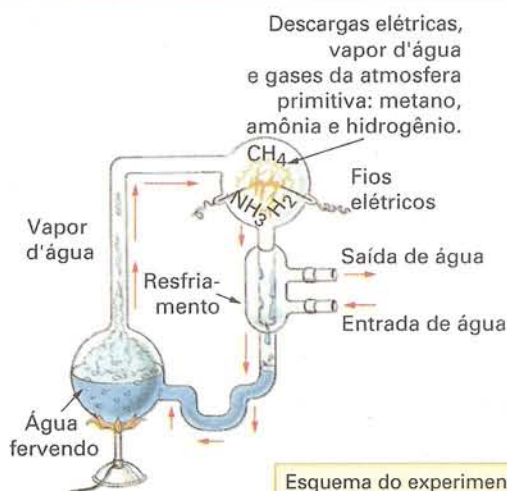
10. O experimento de Miller

A hipótese da evolução gradual dos sistemas químicos foi testada pela primeira vez pelo químico americano Stanley L. Miller, em 1953. Na época, Miller trabalhava com **Harold C. Urey**, na Universidade de Chicago, razão pela qual muitos preferem dizer **experimento de Miller-Urey**.

Miller construiu um aparelho que simulava as condições da Terra primitiva e introduziu nele os componentes que provavelmente constituíam a atmosfera naquela época: amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), metano (CH_4) e vapor d'água.



Stanley Miller em seu laboratório.



A água, ao ser fervida, forma vapor e promove a circulação em todo o sistema, em um só sentido. No balão em que se encontra a mistura gasosa ocorrem descargas elétricas, simulando os raios que, na Terra primitiva, deviam ocorrer com frequência. Após as descargas elétricas, os materiais são submetidos a um resfriamento para simular a condensação nas altas camadas da atmosfera, que provoca as chuvas. A parte em U desse sistema simula os mares primitivos, que recebiam as chuvas e os compostos formados na atmosfera.

Pela análise da água contida nessa parte em U pode-se verificar a formação de moléculas orgânicas, dentre elas alguns aminoácidos, substâncias que formam as proteínas.

11. A evolução do metabolismo

Analizamos até agora o surgimento das primeiras formas vivas, e você deve ter notado que já mencionamos, para essas formas, algumas das características importantes para conceituar um ser vivo. Esses primeiros organismos possuem compostos orgânicos na constituição de seus corpos, são celulares (unicelulares, no caso) e têm capacidade de reprodução.

Não discutimos ainda uma outra característica dos seres vivos: o metabolismo. Vamos, então, analisar como deve ter sido a provável evolução das vias metabólicas nos seres vivos.

Todo ser vivo precisa de alimentos, que são degradados nos processos metabólicos para a liberação de energia e realização de funções. Esses alimentos degradados também podem ser utilizados como matéria-prima na síntese de outras substâncias orgânicas, possibilitando o crescimento e a reposição de perdas.

Vamos analisar, então, como esses primeiros seres conseguiam obter e degradar o alimento para sua sobrevivência. Duas hipóteses têm sido discutidas pelos cientistas: a hipótese heterotrófica e a autotrófica.

11.1. Hipótese heterotrófica

Segundo essa hipótese, os primeiros organismos eram estruturalmente muito simples, sendo de se supor que as reações químicas em suas células também eram simples. Eles viviam em um ambiente aquático, rico em substâncias nutritivas, mas provavelmente não havia oxigênio na atmosfera, nem dissolvido na água dos mares. Nessas condições, é possível supor que, tendo alimento abundante ao seu redor, esses primeiros seres teriam utilizado esse alimento já pronto como fonte de energia e matéria-

prima. Eles seriam, portanto, **heterótrofos** (*hetero* = diferente, *trofos* = alimento): organismos que não são capazes de sintetizar seus próprios alimentos a partir de compostos inorgânicos, obtendo-os prontos do meio ambiente.

Os seres capazes de sintetizar seus próprios alimentos a partir de substâncias inorgânicas simples são chamados **autótrofos** (*auto* = próprio, *trofos* = alimento), como é o caso das plantas.

Uma vez dentro da célula, esse alimento precisa ser degradado. Nas condições da Terra atual, a via metabólica mais simples para se degradar o alimento sem oxigênio é a **fermentação**, um processo anaeróbio (*an* = sem, *aero* = ar, *bio* = vida). Um dos tipos mais comuns de fermentação é a alcoólica. O açúcar glicose é degradado em álcool etílico (etanol) e gás carbônico, liberando energia para as várias etapas do metabolismo celular.

Esses organismos começaram a aumentar em número por reprodução. Paralelamente a isso, as condições climáticas da Terra também estavam mudando a ponto de não mais ocorrer síntese pré-biótica da matéria orgânica. Desse modo, o alimento dissolvido no meio teria começado a ficar escasso.

Com alimento reduzido e um grande número de indivíduos nos mares, deve ter havido muita competição, e muitos organismos teriam morrido por falta de alimento. Acredita-se que nesse novo cenário teria ocorrido o surgimento de alguns seres capazes de captar a luz solar com o auxílio de pigmentos como a clorofila. A energia da luz teria sido utilizada para a síntese de seus próprios alimentos orgânicos, a partir de água e gás carbônico. Teriam surgido assim os primeiros seres autótrofos: os seres **fotossintetizantes** (*foto* = luz; síntese em presença de luz), que não competiam com os heterótrofos e proliferaram muito.

Esses primeiros seres fotossintetizantes foram fundamentais na modificação da composição da atmosfera: eles introduziram o oxigênio no ar, e a atmosfera teria passado de redutora a oxidante. Até os dias de hoje, são principalmente os seres fotossintetizantes que mantêm os níveis de oxigênio na atmosfera, o que é fundamental para a vida no nosso planeta.

Havendo disponibilidade de oxigênio, foi possível a sobrevivência de seres que desenvolveram reações metabólicas complexas, capazes de utilizar esse gás na degradação do alimento. Surgiram, então, os primeiros seres aeróbios, que realizavam a **respiração**. Por meio da respiração, o alimento, especialmente o açúcar glicose, é degradado em gás carbônico e água, liberando muito mais energia para a realização das funções vitais do que na fermentação.

A fermentação, a fotossíntese e a respiração permaneceram ao longo do tempo e ocorrem nos organismos que vivem atualmente na Terra.

HIPÓTESE HETEROTRÓFICA

Fermentação → Fotossíntese → Respiração

11.2. Hipótese autotrófica

Alguns cientistas têm argumentado que os seres vivos não devem ter surgido em mares rasos e quentes, como proposto por Oparin e Haldane, pois a superfície terrestre, na época em que a vida surgiu, era um ambiente muito instável. Meteoritos e cometas atingiam essa superfície com muita frequência, e a vida primitiva não poderia se manter em tais condições.

Logo no início da formação da Terra, meteoritos colidiam fortemente com a superfície terrestre, e a energia dessas colisões era gasta no derretimento ou até mesmo na vaporização da superfície rochosa. Os meteoritos fragmentavam-se e derretiam, contribuindo com sua substância para a Terra em crescimento. Um impacto especialmente violento pode ter gerado a Lua, que guarda até hoje em sua superfície o registro desse período, que na superfície da Terra foi apagado ao longo do tempo pela erosão.

A maioria dos meteoritos se queima até desaparecer quando entra na atmosfera terrestre atual e brilha no céu como estrelas cadentes. Nos primórdios da Terra, os meteoritos eram maiores, mais numerosos e mais frequentes.

Alguns cientistas especulam que os primeiros seres vivos não poderiam ter sobrevivido a esse bombardeio cósmico, e propõem que a vida tenha surgi-

do em locais mais protegidos, como o assoalho dos mares primitivos.

Em 1977, foram descobertas nas profundezas oceânicas as chamadas **fontes termais submarinas**, locais de onde emanam gases quentes e sulfurosos que saem de aberturas no assoalho marinho. Nesses locais a vida é abundante. Muitas bactérias que aí vivem são autótrofas, mas realizam um processo muito distinto da fotossíntese. Onde essas bactérias vivem não há luz, e elas são a base de uma cadeia alimentar peculiar. Elas servem de alimento para os animais ou então são mantidas dentro dos tecidos deles. Nesse caso, tanto os animais como as bactérias se beneficiam: elas têm proteção dentro do corpo dos animais, e estes recebem alimentos produzidos pelas bactérias.

Ralph White/Corbis



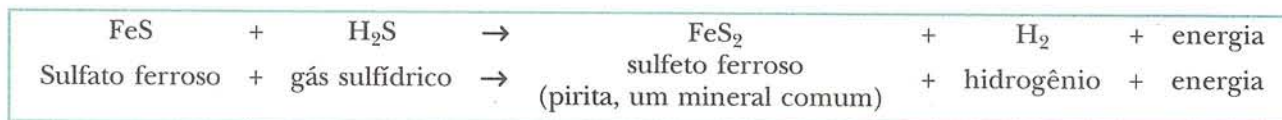
Fotografia de alguns organismos típicos das fontes termais submarinas: os organismos tubículas chegam a medir cerca de 1 m de comprimento.

A descoberta das fontes termais levantou a possibilidade de que a vida teria surgido nesse tipo de ambiente protegido e de que a energia para o metabolismo dos primeiros seres vivos teria ocorrido por um mecanismo autotrófico denominado **quimiosíntese**. Alguns cientistas acreditam que os primeiros seres vivos foram bactérias, que obtinham energia para o metabolismo a partir da reação entre substâncias inorgânicas, como fazem as bactérias encontradas atualmente nas fontes termais submarinas e em outros ambientes muito quentes (com cerca de 60 a 105 °C) e sulfurosos. Segundo essa hipótese, parece

que toda a vida que conhecemos descende desse tipo de bactéria, que devia ser autotrófica.

Os que argumentam a favor dessa hipótese baseiam-se em evidências que sugerem abundância de sulfeto de hidrogênio (gás sulfídrico, H_2S , que tem cheiro de ovo podre) e compostos de ferro na Terra primitiva. As primeiras bactérias devem ter obtido energia de reações que tenham envolvido esses compostos para a síntese de seus compostos orgânicos.

Algumas bactérias que vivem atualmente em fontes quentes e sulfurosas podem realizar a reação química a seguir, que pode ter sido a reação fundamental fornecedora de energia para os primeiros seres vivos:



A energia liberada por essa reação pode ser usada pelas bactérias para quebrar o CO_2 do meio e aproveitar o carbono na produção de compostos orgânicos essenciais para a vida.

Assim, segundo essa hipótese, a quimiossíntese — um processo autotrófico — teria surgido primeiro. Depois teriam surgido a fermentação, a fotossíntese e finalmente a respiração.

Os debates sobre a origem da vida são apaixonantes e existem opiniões diversas. Algumas foram aqui apresentadas e, dentre elas, a hipótese mais aceita sobre a evolução do metabolismo ainda tem sido a heterotrófica, embora a hipótese autotrófica venha ganhando cada vez mais força.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Uma criança argumenta com você que um automóvel é um ser vivo, pois “bebe” água, usa combustível para suas atividades, movimenta-se e até mesmo “responde” a certos tipos de estímulos: acelera quando pisamos no acelerador, freia quando pisamos no breque, pára de funcionar quando algum mecanismo interno apresenta problemas. Como você poderia explicar que o carro é um ser inanimado e não um ser vivo?

2. A abiogênese afirma que os seres vivos surgem da matéria bruta. Compare as idéias dos cientistas que acreditavam na abiogênese com o que se acredita hoje sobre a origem da vida por meio da evolução gradual dos sistemas químicos.

3. A galáxia mais próxima da nossa é a Espiral de Andrômeda. Ela contém milhares de estrelas, muitas das

quais semelhantes ao nosso Sol. O Universo contém mais de 1 bilhão de galáxias. Cada galáxia, assim como a Andrômeda, contém milhares de estrelas. É interessante especular: nos planetas que orbitam essas estrelas, será que existem estudantes assim como você, procurando entender a origem da vida? Os cientistas estimam que no Universo existem cerca de 100 000 000 000 000 000 000 de estrelas com características físicas semelhantes à do nosso Sol e que pelo menos cerca de 10% dessas estrelas possuem sistema planetário ao seu redor. Se apenas um em cada 10 mil planetas tiver o tamanho equivalente ao da Terra e estiver à mesma distância do seu sol, podemos pensar que vida semelhante à que conhecemos teria surgido nesses planetas? Existem indícios de formação de matéria orgânica fora da Terra? Quais são eles?



TEXTO PARA DISCUSSÃO

O equilíbrio da natureza

Na natureza, as plantas e outros seres clorofilados produzem, por fotossíntese, os alimentos de que necessitam e os degradam por meio da respiração para a execução das funções celulares.

Os organismos que não conseguem sintetizar seus próprios alimentos a partir de substâncias

inorgânicas precisam se alimentar dos autótrofos ou de outros heterótrofos.

Esse elo alimentar entre os seres vivos pode ser facilmente observado na natureza. As plantas são comidas pelos animais herbívoros, que são comidos pelos carnívoros. Essa sequência em que um ser vivo

serve de alimento para outro é chamada **cadeia alimentar**. Na cadeia alimentar ocorre, portanto, a transferência de matéria e de energia para os seres vivos.

O texto que reproduzimos a seguir discute exatamente esse aspecto, que é tão importante para o equilíbrio da natureza.



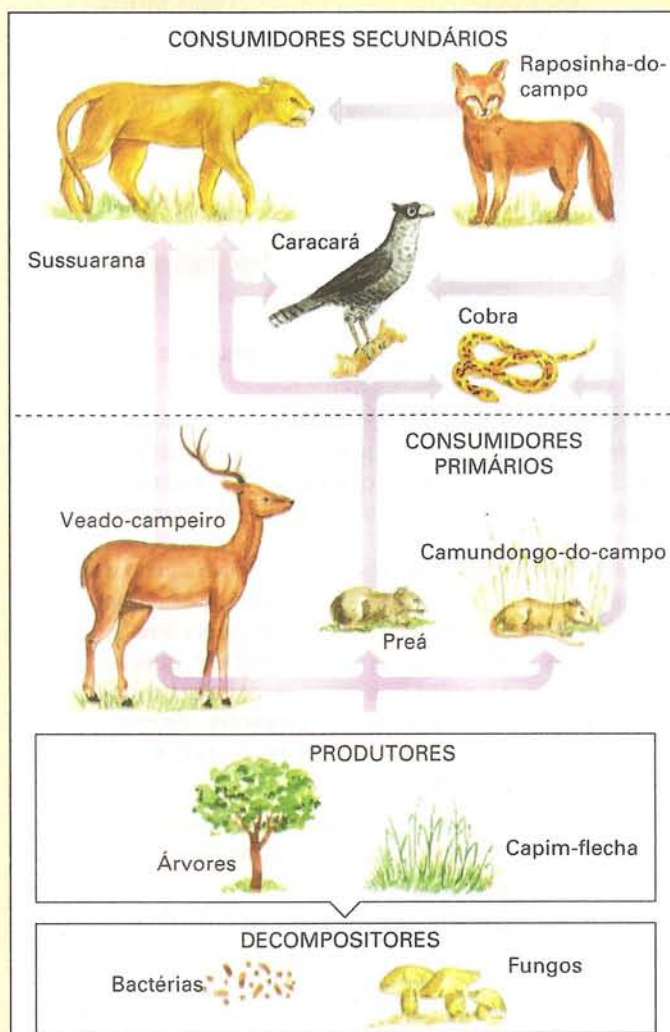
Esquema simplificado de cadeia alimentar: grama → gado → homem (elementos representados fora de proporção).

Funcionamento básico de um ecossistema

Ecossistema é o conjunto formado pelos elementos abióticos, como a água e os minerais, e pelos elementos bióticos. Os componentes bióticos de um ecossistema podem ser divididos em duas categorias: a dos autótrofos, ou seja, aqueles que são capazes de “fabricar” o próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas, e a dos heterótrofos, que precisam se alimentar de outros seres vivos. Os autótrofos também são chamados de **produtores**, pois fornecem toda a energia aos demais seres vivos. A essa categoria pertencem as plantas que realizam a fotossíntese. Os heterótrofos, por sua vez, dividem-se em dois grupos: o dos **consumidores**, que se alimentam de outros seres vivos, e o dos **decompositores**, que se alimentam e obtêm energia da decomposição da matéria orgânica após a morte de um produtor ou de um consumidor.

Os componentes dos ecossistemas mantêm entre si intrincadas relações. Os produtores, no caso as plantas, absorvem a energia solar e, utilizando substâncias inorgânicas, produzem matéria orgânica. Os consumidores, ao se alimentarem das plantas, adquirem parte dessa energia que foi incorporada ao corpo do organismo produtor e, com isso, também podem sobreviver. Ao morrerem, tanto as plantas (produtores) quanto os animais (consumidores) fornecem alimento para os decompositores. Estes, por fim, eliminam, assim como o fazem os consumidores, matéria inorgânica que pode ser utilizada novamente pelas plantas.

Damos o nome **teia alimentar** a todas essas relações entre os seres vivos.



Esquema de teia alimentar (elementos representados fora de proporção).

As teias alimentares e todas as demais inter-relações entre os seres vivos demoraram milhões de anos para se formar e estão em contínuo processo de modificação. Os ecossistemas, como nós os conhecemos atualmente, são produto de uma história

evolutiva única e cuja estabilidade está garantida pelo equilíbrio entre seus diversos componentes. As alterações naturais que os ecossistemas vêm sofrendo são sempre muito lentas, uma vez que mudanças bruscas em qualquer elo de seu sistema podem conduzi-los ao colapso total. A extinção de uma espécie de predador, por exemplo, é capaz de levar à superpopulação determinadas espécies que lhes serviam de presa e, com isso, desequilibrar toda a teia alimentar.

Equilíbrio ecológico é justamente a situação em que as populações de produtores, consumidores e decompositores mantêm-se em proporções ideais para que todos possam sobreviver. Esse equilíbrio também implica uma relação ótima com o meio abiótico, do qual apenas os produtos essenciais são extraídos, e as condições naturais não são alteradas.

Zysman Neiman. *Era verde? Ecossistemas brasileiros ameaçados*. São Paulo: Atual, 1989.

- O conhecimento do metabolismo das células é importante não só para compreendermos o funcionamento das células como também para obtermos subsídios à compreensão do fluxo de energia nos ecossistemas. Com base em seus conhecimentos e nas informações do texto, construa uma cadeia alimentar, explique-a e discuta com seus colegas de classe sobre o que pode acontecer quando se retira um dos elos da cadeia.



TESTES

1. (UECE) Indique a opção que contém a sequência lógica dos níveis de organização dos seres vivos:

- organismo → população → comunidade → ecossistema.
- organismo → comunidade → população → ecossistema.
- população → comunidade → organismo → ecossistema.
- população → comunidade → ecossistema → organismo.

2. (UFMG) Um estudante decidiu testar os resultados da falta de determinada vitamina na alimentação de um grupo de ratos. Colocou então cinco ratos em uma gaiola e retirou de sua dieta os alimentos ricos na vitamina em questão. Após alguns dias, os pêlos dos ratos começaram a cair. Concluiu então que esta vitamina desempenha algum papel no crescimento e manutenção dos pêlos. Sobre essa experiência podemos afirmar:

- A experiência obedeceu aos princípios do método científico, mas a conclusão do estudante pode não ser verdadeira.
- A experiência foi correta e a conclusão também. O estudante seguiu as normas do método científico adequadamente.
- A experiência não foi realizada corretamente porque o estudante não usou um grupo de controle.
- O estudante não fez a experiência de forma correta, pois não utilizou instrumentos especializados.
- A experiência não foi correta porque a hipótese do estudante não era uma hipótese passível de ser testada experimentalmente.

3. (Fuvest-SP) O tema “teoria da evolução” tem provocado debates em certos locais dos Estados Unidos da América, com algumas entidades contestando seu ensino nas

escolas. Nos últimos tempos, a polêmica está centrada no termo **teoria**, que, no entanto, tem significado bem definido para os cientistas. Sob o ponto de vista da ciência, teoria é:

- sinônimo de lei científica, que descreve regularidades de fenômenos naturais, mas não permite fazer previsões sobre eles.
- sinônimo de hipótese, ou seja, uma suposição ainda sem comprovação experimental.
- uma idéia sem base em observação e experimentação, que usa o senso comum para explicar fatos do cotidiano.
- uma idéia, apoiada pelo conhecimento científico, que tenta explicar fenômenos naturais relacionados, permitindo fazer previsões sobre eles.
- uma idéia, apoiada pelo conhecimento científico, que, de tão comprovada pelos cientistas, já é considerada uma verdade incontestável.

4. (Fuvest-SP) No texto a seguir, reproduzido do livro *Descobertas Acidentais em Ciências*, de Royston M. Roberts (Editora Papirus, Campinas, SP, 1993), algumas frases referentes a etapas importantes na construção do conhecimento científico foram grifadas e identificadas por um numeral romano.

“Em 1889, em Estrasburgo, então Alemanha, enquanto estudavam a função do pâncreas na digestão, Joseph von Mering e Oscar Minkowski removeram o pâncreas de um cão. No dia seguinte, um assistente de laboratório chamou-lhes a atenção sobre o grande número de moscas voando ao redor da urina daquele cão. (I) Curiosos sobre por que as moscas foram atraídas à urina, analisaram-na e observaram que esta apresentava excesso de açúcar. (II) Açúcar na urina é um sinal comum de diabetes.”

Von Mering e Minkowski perceberam que estavam vendo pela primeira vez a evidência da produção experimental de diabetes em um animal. (III) O fato de tal animal não ter pâncreas sugeriu a relação entre esse órgão e o diabetes. [...]

Muitas tentativas de isolar a secreção foram feitas, mas sem sucesso até 1921. Dois pesquisadores, Frederick G. Banting, um jovem médico canadense, e Charles H. Best, um estudante de Medicina, trabalhavam no assunto no laboratório do professor John J. R. MacLeod, na Universidade de Toronto. Eles extraíram a secreção do pâncreas de cães. (IV) Quando injetaram os extratos [secreção do pâncreas] nos cães tornados diabéticos pela remoção de seus pâncreas, o nível de açúcar no sangue desses cães voltava ao normal, e a urina não apresentava mais açúcar.

A alternativa que identifica corretamente cada uma das frases grifadas com cada uma das etapas de construção do conhecimento científico é:

I	II	III	IV
a) Hipótese	Teste da hipótese	Fato	Observação
b) Fato	Teoria	Observação	Teste da hipótese
c) Observação	Hipótese	Fato	Teste da hipótese
d) Observação	Fato	Teoria	Hipótese
e) Observação	Fato	Hipótese	Teste da hipótese

5. (PUC-RJ)

- I — Os ácidos nucleicos estão presentes em todos os seres vivos.
- II — A reprodução é um dos processos que caracterizam a vida.
- III — Os vírus são organismos unicelulares.

Indique a opção que apresenta a(s) afirmativa(s) correta(s):

- a) I e II.
- b) II e III.
- c) I e III.
- d) apenas a III.
- e) I, II e III.

6. (PUC-RJ) Em evolução existe uma teoria, hoje considerada ultrapassada, que afirma a possibilidade do surgimento de espécies a partir de matéria não-viva, como os girinos que se originariam da lama ou as larvas que se originariam de carne em decomposição. Essa teoria é denominada de:

- a) criação especial.
- b) seleção natural.
- c) transmutação das espécies.
- d) geração espontânea.
- e) refúgio ecológico.

7. (UFBA) Responda de acordo com o seguinte código:

- I — A teoria da biogênese afirma que todo ser vivo nasce, cresce, se reproduz e morre.
- II — De acordo com a teoria da abiogênese, a vida só pode ser originada de outra, preexistente e semelhante.

III — A teoria da geração espontânea afirma que seres vivos podem nascer da matéria bruta.

- a) Apenas a afirmativa I é correta.
- b) Apenas a afirmativa III é correta.
- c) Apenas as afirmativas I e III são corretas.
- d) Apenas as afirmativas II e III são corretas.
- e) As afirmativas I, II, III são corretas.

8. (Fuvest-SP) Qual das alternativas distingue organismos heterotróficos de organismos autotróficos?

- a) Somente organismos heterotróficos necessitam de substâncias químicas do ambiente.
- b) Somente organismos heterotróficos fazem respiração celular.
- c) Somente organismos heterotróficos possuem mitocôndrias.
- d) Somente organismos autotróficos podem viver com nutrientes inteiramente inorgânicos.
- e) Somente organismos autotróficos não requerem gás oxigênio.

9. (PUC-SP) Considere os seguintes eventos relativos à origem da vida:

- I — Aparecimento do processo de fermentação.
- II — Formação de coacervatos.
- III — Aparecimento dos processos de fotossíntese e respiração aeróbica.
- IV — Estabelecimento do equilíbrio entre heterótrofos e autótrofos.

A ordem lógica em que esses eventos ocorreram é:

- a) I → II → III → IV.
- b) I → II → IV → III.
- c) II → I → III → IV.
- d) II → III → IV → I.
- e) IV → III → II → I.

10. (Unesp-SP) Segundo a teoria de Oparin, a vida na Terra poderia ter sido originada a partir de substâncias orgânicas formadas pela combinação de moléculas, como metano, amônia, hidrogênio e vapor d'água, que compunham a atmosfera primitiva da Terra. A esse processo seguiram-se a síntese protéica nos mares primitivos, a formação dos coacervados e o surgimento das primeiras células. Considerando os processos de formação e as formas de utilização dos gases oxigênio e dióxido de carbono, a seqüência mais provável dos primeiros seres vivos na Terra foi:

- a) autotróficos, heterotróficos anaeróbicos e heterotróficos aeróbicos.
- b) heterotróficos anaeróbicos, heterotróficos aeróbicos e autotróficos.
- c) autotróficos, heterotróficos aeróbicos e heterotróficos anaeróbicos.
- d) heterotróficos anaeróbicos, autotróficos e heterotróficos aeróbicos.
- e) heterotróficos aeróbicos, autotróficos e heterotróficos anaeróbicos.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFMT) Cite e explique quatro aspectos que demonstram ser o conhecimento da Biologia importante para o homem contemporâneo.
2. (Fuvest-SP) Imagine que você esteja cultivando uma planta em solução nutritiva. Como procederia para certificar-se de que certo elemento mineral é essencial para a vida dessa planta?
3. (UMC-SP) A tabela abaixo mostra uma comparação da quantidade de dois gases na atmosfera da Terra e na de outro planeta denominado Planeta X.

Tipo de gás	Terra há 3,5 bilhões de anos	Terra atualmente	Planeta X há 3,5 bilhões de anos	Planeta X atualmente
O ₂	Não-detectável	21%	Não-detectável	Não-detectável
CO ₂	98%	3%	95%	95%

- a) Que fator contribuiu majoritariamente para tamanha mudança na composição de gases na atmosfera terrestre?
 - b) Qual a atividade biológica responsável pelo crescimento dos teores de O₂ na atmosfera?
 - c) Se essa atividade ainda existe na biota terrestre, como explicar o fato de que o teor de O₂ se tem mantido inalterado na atmosfera terrestre ao longo dos últimos milhares de anos?
 - d) O que pode ser inferido sobre a possível existência de vida no Planeta X?
4. (PUC-MG) O bioquímico russo Oparin, em seu livro *A origem da vida*, admitiu que a vida sobre a Terra surgiu há mais ou menos 3,5 bilhões de anos. Segundo Oparin, responda aos itens abaixo:
- a) Cite dois gases presentes na atmosfera primitiva.
 - b) A que condições estavam submetidos os gases da atmosfera primitiva?
 - c) Que compostos químicos se originaram a partir dos gases iniciais?
 - d) Atualmente sabemos que seres autótrofos constituem fonte básica de alimento. No entanto, admite-se que os primeiros organismos devam ter sido heterótrofos. A partir de onde os heterótrofos conseguiam seu alimento na Terra primitiva?
 - e) Qual o mecanismo utilizado pelos primeiros organismos para obtenção de energia?
5. (UFMT) Sobre a origem dos seres vivos, duas teorias sustentaram uma polêmica nos meios científicos, até fins do século passado: a teoria da geração espontânea (abiogênese) e a teoria da biogênese. Faça um comentário sucinto sobre tais teorias, explicando também como foi solucionada a polêmica.
6. (Fuvest-SP) A hipótese mais aceita para explicar a origem da vida sobre a Terra propõe que os primeiros seres vivos eram heterótrofos.
- a) Que condições teriam permitido que um heterótrofo sobrevivesse na Terra primitiva?
 - b) Que condições ambientais teriam favorecido o aparecimento posterior dos autótrofos?
 - c) Além das condições ambientais, qual o outro argumento para não se aceitar que o primeiro ser vivo tenha sido autótrofo?

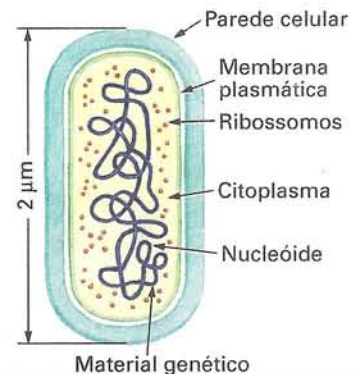
Das origens até os dias de hoje

1. Os primeiros seres vivos: as bactérias

Acredita-se que os primeiros seres vivos eram **unicelulares**, ou seja, apresentavam o corpo formado por uma única célula. Essa célula seria estrutural e funcionalmente muito simples, formada por membrana plasmática delimitando o citoplasma, no qual estava presente uma molécula de ácido nucléico, em uma região denominada **nucleóide**.

Células assim organizadas são denominadas **células procarióticas** e os organismos que as apresentam são denominados **procariontes** ou **procariotos**. Como regra geral, as células procarióticas apresentam **parede celular**, que é uma estrutura externa à membrana plasmática.

Atualmente, os organismos procariontes existentes são as bactérias e as cianobactérias (algas azuis ou cianofíceas).



Esquema de célula procariótica vista em corte, com base em observações ao microscópio eletrônico. No citoplasma existem vários ribossomos, que também ocorrem nas células eucarióticas e estão relacionados com a síntese de proteínas; eles não são estruturas delimitadas por membranas. (Cores-fantasia.)

2. O surgimento das células mais complexas: as eucarióticas

A partir dos procariontes anaeróbios ancestrais, teriam derivado também os organismos com estrutura celular mais complexa: os **eucariontes** ou **eucariotos**. Estes apresentam células chamadas **eucarióticas**, formadas por membrana plasmática, citoplasma e núcleo.

O surgimento dos eucariontes deve ter ocorrido há cerca de 1,7 bilhão de anos. Eles estão representados pelos unicelulares eucariontes, como as amebas, e pelos multicelulares, como as plantas e os animais.

As primeiras células eucarióticas teriam surgido a partir das células procarióticas, que passaram a desenvolver dobramentos da membrana plasmática, tornando-se ainda maiores e mais complexas. Esses dobramentos teriam dado origem a **organelas citoplasmáticas** e à **carioteca**, estrutura membranosa que separa o material genético do citoplasma, formando o núcleo.

Dentre as organelas membranosas, apenas as **mitocôndrias** e os **cloroplastos** parecem ter tido origem diferente. As mitocôndrias são responsáveis pela

respiração celular, ocorrendo em praticamente todos os eucariontes. Os cloroplastos são responsáveis pela fotossíntese, estando presentes apenas nos seres fotossintetizantes, como as plantas.

Supõe-se que os primeiros eucariontes eram anaeróbios e que tinham por hábito englobar bactérias como alimento. Em algum momento da evolução desses organismos, algumas dessas bactérias, que já tinham a capacidade de realizar a respiração, foram mantidas no citoplasma dos eucariontes sem serem degradadas. Essas bactérias teriam sido mantidas por beneficiarem os eucariontes, uma vez que realizavam para eles a respiração.

A respiração é um processo de liberação de energia dos alimentos muito mais eficiente que a fermentação. Para a bactéria, essa condição também era vantajosa, pois recebia proteção e nutrientes dos eucariontes. Essa **relação simbiótica** com benefícios para ambos os indivíduos (**mutualismo**) teria se perpetuado, e essas bactérias teriam dado origem às atuais mitocôndrias.

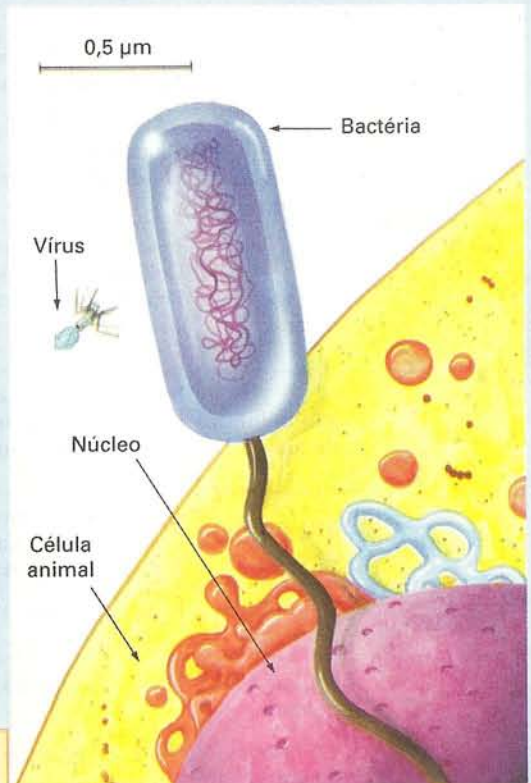
Algum tempo depois de estabelecida essa re-

A origem dos vírus

À primeira vista, poderíamos imaginar que os vírus, sendo formas tão simples de vida, teriam sido os primeiros seres a surgirem na Terra. Entretanto, se considerarmos que as manifestações vitais dos vírus são totalmente dependentes de uma célula, a qual invadem e passam a controlar em seu próprio benefício, fica difícil supor que os vírus teriam surgido antes das células hospedeiras.

Uma das hipóteses sobre a origem dos vírus propõe que seu material genético seja derivado de pequenos fragmentos do material genético de células, e que esses fragmentos mantiveram algum tipo de existência autônoma dentro da célula. Por seleção natural, esses fragmentos evoluíram para um tipo totalmente diferente de elemento genético: os vírus.

Os vírus são menores que as bactérias, as quais, por sua vez, são menores que as células eucarióticas.



Esquema comparativo entre o tamanho de um vírus, de uma célula procariótica e de uma eucariótica. (Cores-fantasia.)

3. O tempo geológico

A diversidade atual de seres vivos é muito grande, mas nem sempre foi igual à que temos hoje. Em épocas passadas, havia muitos seres diferentes dos de hoje, como é o caso dos dinossauros, extintos há cerca de 65 milhões de anos.

Com base em registros que os seres vivos deixaram principalmente nas rochas (fósseis) e em estudos das mudanças nas condições ambientais pelas quais o nosso planeta passou até os dias de hoje, os cientistas dividem o tempo geológico em **eras**, as quais são subdivididas em **períodos**, que são formados por **épocas**.

Era	Período	Início	Principais modificações físicas na Terra	Alguns eventos na história da vida
Cenozoica	Quaternário	1,64 milhão de anos	Clima frio e seco Glaciações repetidas	Evolução do ser humano Extinção dos grandes mamíferos
	Terciário	65 milhões de anos	Continentes em posições semelhantes às atuais Clima ameno	Radiação das aves, mamíferos, plantas superiores e insetos
Mesozoica	Cretáceo	146 milhões de anos	Continentes do norte ligados Começa a deriva da Gondwana Meteorito cai na península de Yucatán	Radiação dos dinossauros Diversificação dos mamíferos e plantas superiores Extinção em massa ao final do período (cerca de 76% das espécies desaparecem)
	Jurássico	210 milhões de anos	Dois grandes continentes se formam: Laurásia (norte) e Gondwana (sul) Clima aquecido	Diversificação dos dinossauros Primeiras aves Duas extinções menores
	Triássico	248 milhões de anos	Pangéia lentamente começa a se mover Clima quente e úmido	Dinossauros primitivos Primeiros mamíferos Diversificação dos invertebrados marinhos Extinção em massa ao final do período (cerca de 65% das espécies desaparecem)

Era	Período	Início	Principais modificações físicas na Terra	Alguns eventos na história da vida
Paleozóica	Permiano	290 milhões de anos	Continentes agregados na Pangéia Grandes formações glaciares Clima seco no interior da Pangéia	Radiação dos répteis Declínio dos anfíbios Extinção em massa ao final do período (cerca de 96% das espécies desaparecem)
	Carbonífero	363 milhões de anos	Clima ameno Gradientes climáticos latitudinais	Florestas de samambaias Primeiros répteis Radiação dos insetos Plantas com flores primitivas
	Devoniano	409 milhões de anos	Colisão dos continentes no final do período Provável colisão com asteróide	Diversificação dos peixes Primeiros insetos e anfíbios Extinção em massa ao final do período (cerca de 75% das espécies desaparecem)
	Siluriano	439 milhões de anos	Nível dos mares sobe Dois grandes continentes são formados Clima quente e úmido	Diversificação dos peixes mandibulados Surgimento dos primeiros peixes ósseos Plantas e animais colonizam o ambiente marinho
	Ordoviciano	510 milhões de anos	Gondwana se move em direção ao pólo sul Glaciações em massa Nível do mar baixa 50 m	Extinção em massa ao final do período (cerca de 75% das espécies desaparecem)
	Cambriano	570 milhões de anos	Nível de oxigênio se aproxima do atual	Surge a maioria dos filos animais e diversos grupos de algas
Pré-cambriana		600 milhões de anos	Nível de oxigênio é cerca de 5% do atual	Fauna abundante
		2,5 bilhões de anos	Nível de oxigênio é cerca de 1% do atual	Evolução dos eucariontes Surgem vários filos animais
		3,8 bilhões de anos	Atmosfera primitiva	Origem da vida Surgimento e evolução dos procariontes

Essas mudanças na composição da fauna e da flora de nosso planeta ao longo do tempo foram acompanhadas também por profundas mudanças climáticas e por alterações na crosta terrestre. A Terra foi e ainda é um planeta em transformação.

Extinção em massa

Ao longo da história da vida na Terra, dois fenômenos têm atuado decisivamente sobre a biodiversidade: o surgimento e o desaparecimento de grupos de seres vivos.

A análise dos fósseis indica que em determinados momentos do tempo geológico ocorreram aumentos extremamente elevados do número de formas de vida que ainda não haviam sido registradas em períodos anteriores.

O maior e mais importante desses eventos na história da vida aconteceu durante o período Cambriano. Nesse período ocorreu a diferenciação de quase todos os filos de invertebrados que existem até hoje.

Assim como diversas categorias taxonômicas surgem quase que simultaneamente, seu desaparecimento também ocorre por processos de extinção em massa. Houve períodos em que vários grupos de organismos distintos extinguiram-se de forma rápida e praticamente concomitante, o que sugere uma causa comum para esse desaparecimento. Essas grandes ondas de extinção foram causadas principalmente por alterações drásticas no clima global ou pelo impacto de asteróides.

Cinco desses grandes eventos podem ser relatados com base na análise de fósseis e estão resumidos no quadro a seguir.

Final do Ordoviciano
Duração: 10 milhões de anos.
Observou-se a extinção de 60% dos gêneros marinhos e calcula-se que 85% das espécies marinhas tenham desaparecido.
Possível causa: alterações dramáticas do nível do mar.

Devoniano tardio
Duração: aproximadamente 3 milhões de anos.
Observou-se a extinção de 57% dos gêneros marinhos e calcula-se que 83% das espécies marinhas tenham desaparecido.
Possível causa: impacto de asteróides ou cometas, esfriamento do globo, perda de oxigênio nos oceanos.

Final do Permiano
Duração: desconhecida.
Observou-se a extinção de 82% dos gêneros marinhos e calcula-se que 95% das espécies marinhas tenham desaparecido.
Possível causa: impacto de asteróides ou cometas, alta atividade de vulcões, alterações climáticas ou do nível dos oceanos.

Final do Triássico
Duração: 3 a 4 milhões de anos.
Observou-se a extinção de 53% dos gêneros marinhos e calcula-se que 80% das espécies marinhas tenham desaparecido.
Possível causa: alta atividade de vulcões, aquecimento global.

Final do Cretáceo
Duração: aproximadamente 1 milhão de anos.
Observou-se a extinção de 47% dos gêneros marinhos e calcula-se que 76% das espécies marinhas tenham desaparecido.
Possível causa: impacto de asteróides ou cometas, alta atividade de vulcões.



Linha do tempo apontando os cinco grandes eventos de extinção com base em dados fósseis.

Estudos recentes indicam que, desde o início do século XX, estamos vivendo o sexto evento de extinção em massa, em função principalmente da interferência humana sobre o meio ambiente por meio de desmatamentos, emissão de poluentes, caça predatória etc. Esse sexto evento tem sido considerado o mais severo desde o desaparecimento dos dinossauros, há cerca de 65 milhões de anos.

Assim, devemos estar atentos para orientar nossas ações no sentido de promover o menor impacto possível sobre o meio ambiente, para assegurar o desenvolvimento das civilizações minimizando o comprometimento do patrimônio natural.

Traduzido e adaptado por Renata Moretti de: *Scientific American*, nov. 2001.

Desde a origem do nosso planeta, há cerca de 4,5 bilhões de anos, a superfície terrestre tem sofrido modificações. Grandes massas de terra, chamadas **placas tectônicas**, movimentam-se formando novos continentes, montanhas e lagos. Essa movimentação geralmente é gradual, mas movimentos bruscos ocorrem, provocando terremotos, maremotos e erupções vulcânicas. Atualmente, os continentes ainda se movem, mas a uma taxa de apenas alguns centímetros por ano.



Esquema da teoria das placas tectônicas. Cerca de 200 a 250 milhões de anos atrás todas as massas da Terra estavam unidas em um supercontinente: a Pangéia.

Há cerca de 180 milhões de anos a Pangéia começou a se separar formando a Laurásia e a Gondwana, que depois se separaram, dando origem aos continentes atuais.

Os continentes continuam se movimentando em função das placas tectônicas.

4. A biosfera

Os seres vivos que existem hoje em nosso planeta encontram-se distribuídos ocupando o ambiente aquático, o ambiente terrestre e também o ar. Toda a porção da Terra que contém vida recebe o nome de **biosfera**. Esse termo foi criado por semelhança aos utilizados para designar camadas ou esferas relacionadas aos componentes abióticos (*a* = prefixo de negação, *bio* = vida; isto é, sem vida) da Terra, que são:

- **hidrosfera** (*hidro* = água): camada ou esfera da Terra formada por água;
- **litosfera** (*lito* = pedra): camada ou esfera da Terra formada pelas rochas e pelos solos;
- **atmosfera** (*atmós* = gás): camada ou esfera da Terra formada pelo ar.

A biosfera, assim como as demais “esferas”, não é uma camada homogênea, pois as condições ambientais do nosso planeta não são homogêneas.

As condições ambientais são muito importantes na distribuição dos seres vivos. Nos locais onde tais condições são mais favoráveis, a diversidade de formas vivas é maior, ocorrendo o contrário quando as condições não são favoráveis.

Os limites da biosfera são definidos em função de registros que indicam a presença de seres vivos. Esses limites vão desde aproximadamente 11 000 metros de profundidade, nos oceanos, até cerca de 7 000 metros de altitude, na atmosfera.

5. Os reinos de seres vivos

Antigamente, os cientistas dividiam os seres vivos em dois grandes reinos: o das plantas e o dos animais. Com o avanço nos estudos dos seres vivos e em especial dos seres microscópicos, começou a ficar cada vez mais difícil manter esse sistema de classificação, pois muitos seres não se encaixam nem em um reino nem em outro.

Atualmente, a maioria dos cientistas adota um sistema de classificação estabelecido por Whittaker, em 1969, e modificado por outros pesquisadores: o sistema de cinco reinos, que será o adotado nesta obra.

Esse sistema agrupa os seres vivos do seguinte modo:

- **Reino Monera**: organismos procariontes, unicelulares, coloniais ou não, autótrofos (fotossintetizantes ou quimiossintetizantes) ou heterótrofos. Os heterótrofos obtêm seus alimentos por absorção. Esse reino compreende as **bactérias** e as **algas azuis** (atualmente denominadas **cianobactérias**).
- **Reino Protista**: organismos eucariontes, unicelulares, coloniais ou multicelulares que não possuem tecidos verdadeiros. Nesse grupo existem diversos métodos nutricionais, incluindo-se a fotossíntese, a absorção e a ingestão. Esse reino compreende as **algas**, que são fotossintetizantes, e os **protozoários**, organismos heterótrofos que

podem obter seus alimentos por absorção ou por ingestão.

- **Reino Fungi**: organismos eucariontes, heterótrofos, geralmente multicelulares. O modo de nutrição é por absorção. Esse reino compreende os **fungos**.
- **Reino Plantae**: organismos eucariontes, multicelulares e fotossintetizantes com tecidos verdadeiros. São também conhecidos por **metáfitas**. Esse reino compreende as **plantas**, desde as briófitas até as plantas que produzem frutos (angiospermas).
- **Reino Animalia**: organismos eucariontes, multicelulares e heterótrofos. Nutrem-se primariamente por ingestão. São também chamados de **Metazoa** ou **metazoários**. Algumas poucas formas alimentam-se por absorção. Esse reino compreende os **animais**, desde as esponjas até o ser humano.

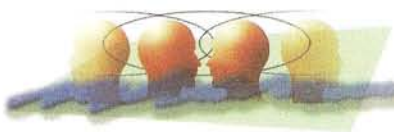
Todos os sistemas de classificação que existem, e este não foge à regra, não incluem os vírus, pois ainda se discute se eles são ou não seres vivos.

Embora bem-aceita, essa proposta de classificação tem recebido críticas e existem outras propostas que buscam melhorar a compreensão das relações evolutivas entre os seres vivos. Este é ainda um assunto polêmico, e por simplificação adotaremos o sistema de cinco reinos como apresentado aqui.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Redija um texto explicando como devem ter sido as primeiras células que surgiram em nosso planeta e como, a partir delas, devem ter surgido as células eucarióticas.
2. Explique, por meio de esquemas ou de um texto ilustrado, as modificações que devem ter ocorrido nas massas de terra em nosso planeta em função da movimentação das placas tectônicas.
3. A teoria da movimentação das placas tectônicas explica as distribuições de organismos, tanto os fósseis como os atuais, que são muito semelhantes e que se encontram registrados para continentes distantes um do outro, como América do Sul e África. Cite exemplos.
4. Explique o que é biosfera.
5. Analisando o tempo geológico, coloque em ordem cronológica o aparecimento dos peixes, dos anfíbios, dos répteis, das aves e dos mamíferos. As aves surgiram antes ou depois dos mamíferos?
6. Os vírus, por serem muito simples, podem ser considerados as primeiras formas de vida do nosso planeta? Eles podem ser considerados o limite entre o vivo e o não-vivo?



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Harmonia e respeito entre seres humanos e natureza: uma questão de vida

Sílvio Crestana

A história da civilização humana, de sua sobrevivência e evolução ao longo dos séculos, está repleta de períodos de grandes desafios e dilemas que o ser humano teve que enfrentar e superar.

O surgimento e o desenvolvimento da agricultura, desde os primórdios da civilização até o presente, foram as principais formas que o ser humano encontrou para interagir com a natureza e dela tirar proveito, visando atender suas necessidades alimentares básicas e imediatas e ampliar suas conquistas e seu poderio. Obviamente, a interação do ser humano com a natureza, desde os nômades até os povos territorialmente bem-estabelecidos, nunca foi, salvo raríssimas exceções, pacífica e harmoniosa.

A modificação da paisagem, com o aparecimento e o crescimento das cidades e da agricultura e consequente degradação dos recursos naturais originalmente eleitos como critérios decisivos para o seu estabelecimento, faz parte da sua contraditória racionalidade. De certa forma, até muito recentemente, o ser humano sempre viu a natureza e principalmente os seus recursos como dádiva infinita e permanente, cabendo-lhe somente, como seu filho privilegiado, dela tirar o máximo proveito, usufruir

de todas as suas benesses sem nada ter que pagar ou mesmo retribuir.

Nestas circunstâncias, é impossível falar e acreditar em equilíbrio entre ser humano e natureza ou conciliar a convivência daquilo que entendemos por progresso e desenvolvimento, respeitando o meio ambiente como patrimônio inalienável desta e das futuras gerações. A esta altura, surge a pergunta: se sempre foi assim e nós chegamos até aqui, por que é que devemos nos preocupar com o futuro? O que há de novo no cenário? Vale refletir sobre isso.

É importante lembrar que, no século passado, o ser humano acumulou uma quantidade quase inestimável de conhecimentos e tecnologias, que dão a ele um imenso poder tanto de construção como de destruição jamais visto antes.

Se temos tanto progresso científico-tecnológico acumulado e assistimos à queda de muros e barreiras entre países e povos, com busca aparente de paz, maior entendimento e colaboração em nível global, o que mais devemos temer ou prever de catastrófico ou ameaçador na face da Terra?

Seria perfeito e estaríamos no paraíso se pudessemos afirmar que não há mais motivos para pre-

ocupações e que as ameaças desapareceram. Talvez, por isso mesmo, como um novo paradigma à nossa existência e progresso, a civilização humana terá que transformar o seu *modus vivendi* e buscar de forma incessante a harmonia e o respeito não somente entre os seres humanos, mas também, de agora em diante, e mais do que nunca, entre os seres humanos e a natureza.

In: Elisabete Gabriela Castellano.

Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias.

- Com base em seus conhecimentos prévios e no que foi visto até aqui, discuta qual a importância de estudar Biologia, para você como cidadão, no nível de escolaridade em que você está.



TESTES

1. (PUC-SP) A presença da carioteca define os seres:

- procariontes.
- autótrofos.
- eucariontes.
- heterótrofos.
- unicelulares.

2. (UFSE) Células procarióticas são encontradas em:

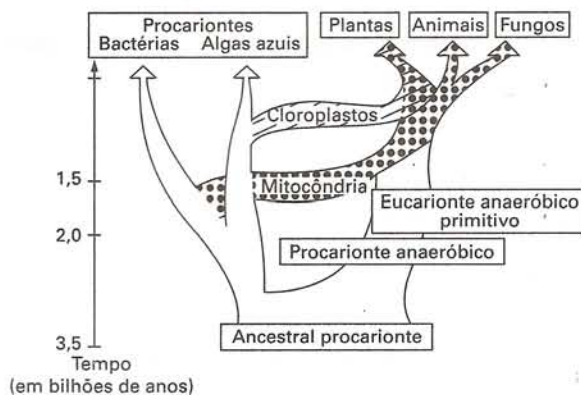
- bactérias.
- fungos.
- musgos.
- pteridófitas.
- angiospermas.

3. (Fuvest-SP) Em artigo publicado no suplemento "Mais!", do jornal *Folha de S. Paulo*, de 6 de agosto de 2000, José Reis relata que pesquisadores canadenses demonstraram que a alga unicelular *Cryptomonas* resulta da fusão de dois organismos, um dos quais englobou o outro ao longo da evolução. Isso não é novidade no mundo vivo. Como relata José Reis: "[...] É hoje corrente em Biologia, após haver sido muito contestada inicialmente, a noção de que certas organelas [...] são remanescentes de células que em tempos idos foram ingeridas por célula mais desenvolvida. Dá-se a esta o nome de hospedeira e o de endossimbiontes às organelas que outrora teriam sido livres".

São exemplos de endossimbiontes em células animais e em células de plantas, respectivamente:

- aparelho de Golgi e centríolos.
- centríolos e vacúolos.
- lisossomos e cloroplastos.
- mitocôndrias e vacúolos.
- mitocôndrias e cloroplastos.

4. (UEM-PR) De acordo com a figura abaixo e com os conceitos sobre relações evolutivas entre os seres vivos, indique o que for correto.



- Os cloroplastos presentes nos eucariontes fotossintetizadores atuais devem ter se originado de procariontes que já realizavam a fotossíntese.
- As mitocôndrias e os cloroplastos encontrados nos eucariontes atuais podem ter se originado de seres procariontes que passaram a desenvolver uma relação simbiótica com células eucariontes anaeróbicas primitivas.
- Os seres eucariontes originaram-se depois dos procariontes, a partir de células procariontes anaeróbicas.
- Os animais e os fungos se originaram exclusivamente das bactérias.
- Os animais e os fungos se originaram de seres heterótrofos.
- As algas azuis e as plantas atuais se originaram de seres autótrofos fotossintetizantes.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

5. (UFCE) Os seres vivos são, atualmente, divididos em cinco reinos. Essa divisão baseia-se, principalmente, no tipo de nutrição e na organização celular dos organismos. Indique a alternativa que mostra corretamente como são considerados os organismos pertencentes ao reino Animalia:

- a) multicelulares, procarióticos e heterótrofos.
- b) unicelulares, eucarióticos e heterótrofos.
- c) multicelulares, eucarióticos e autótrofos.
- d) multicelulares, eucarióticos e heterótrofos.
- e) unicelulares, procarióticos e autótrofos.

6. (Unisinos-RS) Um aluno, ao observar os seres vivos microscópicos de um charco, verifica a grande quantidade de seres eucariontes unicelulares, coloniais ou não, e, com a ajuda da bibliografia, consegue identificar um microrganismo do gênero *Euglena*, que apresenta características tanto animais como vegetais, sendo autotrófico ou heterotrófico dependendo da presença ou ausência de luz e deslocando-se através do movimento de um flagelo.

Considerando o sistema de classificação de Whittaker (1969), o aluno concluirá, pelas características observadas, que tal organismo pertence ao Reino:

- a) Animalia.
- b) Metaphyta.
- c) Protista.
- d) Monera.
- e) dos vírus.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFJF-MG) Quantos e quais são os reinos dos organismos vivos? Caracterize esses reinos.

UNIDADE 2

SPL/Stock Photos



Citologia

A composição química das células

1. Introdução

Até agora, analisamos o universo biológico desde o começo da vida, ou seja, analisamos as hipóteses sobre a origem dos seres vivos e, de forma bastante simplificada, as modificações que ocorreram em nosso planeta desde sua origem até os dias de hoje.

O surgimento da primeira célula marcou o início da vida em nosso planeta. Vamos entrar agora no universo celular, mas para isso precisaremos de noções de **Bioquímica**, que serão introduzidas sem torná-las o principal objeto de nosso estudo. Essas noções serão dadas apenas em quantidade suficiente para compreendermos o funcionamento das células.

Vamos, neste capítulo, saber um pouco mais a respeito das substâncias inorgânicas e das substâncias orgânicas que formam as células.

As substâncias inorgânicas estão representadas pela água e pelos minerais; as substâncias orgânicas, pelos carboidratos (como os açúcares), lipídios (como as gorduras e os óleos), proteínas e ácidos nucleicos.

A porcentagem média dessas substâncias no

corpo dos seres vivos está esquematicamente representada na figura a seguir:

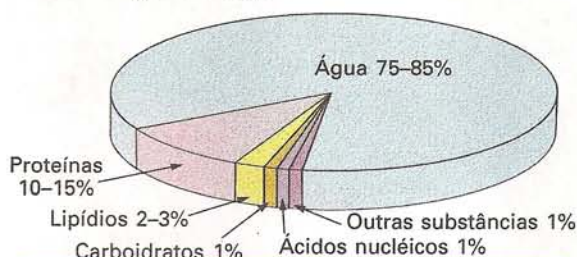


Gráfico mostrando porcentagens aproximadas dos componentes químicos do corpo dos seres vivos.

Como se pode notar, a substância mais abundante nos seres vivos é a água, correspondendo a cerca de 80% da matéria que os constitui. As proteínas correspondem a cerca de 14% e os lipídios a cerca de 3%. As demais substâncias que compõem os seres vivos — os carboidratos, os ácidos nucleicos e os minerais — ocorrem em porcentagens de cerca de 1% cada.

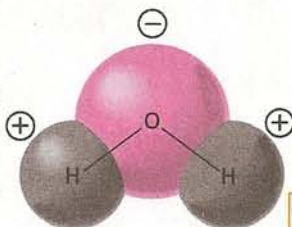
Analisaremos inicialmente a importância da água e dos sais minerais para os seres vivos e, em seguida, a importância das substâncias orgânicas.

2. A água

A água é a substância mais abundante dentro e fora do corpo dos seres vivos. O surgimento e a manutenção da vida no nosso planeta estão associados à água.

Vamos ver, então, de forma simplificada e resumida, o que essa substância tão comum tem de tão especial para que a vida dependa tanto dela.

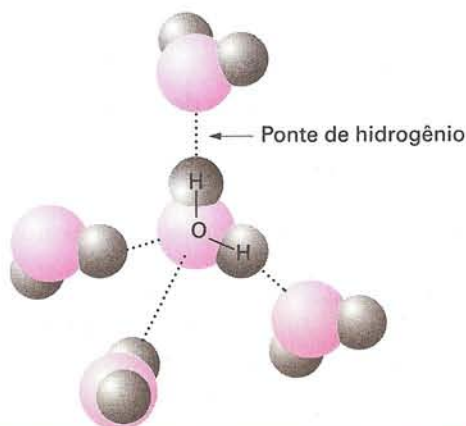
A molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio (H_2O). A disposição espacial desses átomos não é linear; eles formam um ângulo, como representado na figura ao lado.



Representação artística da molécula de água. (Cores-fantasia.)

Essa disposição dos átomos estabelece, na molécula, uma zona positiva de um lado e uma zona negativa do lado oposto. Moléculas que apresentam uma zona positiva e uma negativa são chamadas moléculas **polares**; as que não apresentam essas duas zonas são chamadas **apolares**, como é o caso dos lipídios (gorduras, óleos e ceras).

Por causa da atração entre cargas elétricas opostas, cada molécula de água tende a se unir a outras quatro, de modo que um átomo de hidrogênio de uma molécula sempre se ligue ao átomo de oxigênio de outra molécula. Essas ligações são denominadas **pontes de hidrogênio**.



Representação artística das ligações entre moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio. (Cores-fantasia.)

As moléculas de água ficam fortemente unidas, mantendo a água fluida e estável em condições normais de temperatura e pressão. Essa forte atração entre as moléculas de água é denominada **coesão**.

A coesão entre as moléculas de água no estado líquido é responsável por sua alta **tensão superficial**. É devido a essa propriedade que certos insetos e outros pequenos animais conseguem pousar e mesmo andar sobre a água parada, sem afundar.



Stock Photos

Fotografia de aranha pousada sobre a água de um lago. Mede cerca de 3 cm de comprimento incluindo as pernas.



Cedoc

Fotografia de lagarto nativo de florestas tropicais da América Central e do Sul: escapa de predadores correndo por cima de curtos trechos de rios e lagos. Seus pés possuem membranas que distribuem seu peso por uma área maior à medida que ele corre, o que é suficiente para evitar que a tensão superficial da água seja quebrada. Mede cerca de 25 cm de comprimento incluindo a cauda.

As moléculas de água tendem a se unir também a outras moléculas polares. Essa atração entre moléculas de água e outras substâncias polares é denominada **adesão**.

A água não adere, porém, a moléculas apolares, como as de gordura, de óleo e de cera, que são lipídios. É por isso que se formam gotinhas de água em superfícies enceradas ou oleosas.

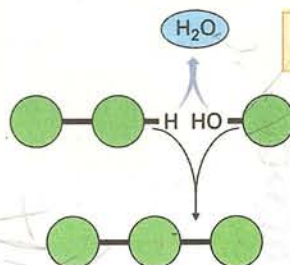
A água tem grande poder de dissolução, sendo considerada o dissolvente (ou solvente) universal. Essa propriedade está relacionada com a polaridade da molécula e seu grande poder de adesão: quando moléculas polares entram em contato com a água, esta tem a tendência de envolver as moléculas do soluto, separando-as. Além de dissolver moléculas polares, a água é também ótimo solvente para os sais minerais.

A propriedade solvente da água é importantíssima, pois todos os reagentes químicos contidos dentro das células estão dissolvidos na água, e todas as reações químicas celulares ocorrem em meio líquido.

As substâncias que se dissolvem na água são chamadas **hidrofílicas** (*hidro* = água, *philus* = amigo) e as que não se dissolvem na água são chamadas **hidrofóbicas** (*hidro* = água, *phobos* = medo).

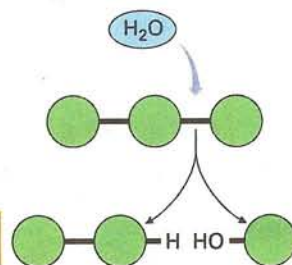
A água participa de muitas reações químicas dentro das células. Essa participação pode ocorrer de duas maneiras principais:

- reações de **síntese por desidratação**, ou seja, por perda de água (quando duas ou mais moléculas se unem e nesse processo há liberação de molécula de água);
- reações de **quebra por hidrólise** (*hidro* = água, *lise* = quebra), ou seja, uma molécula é quebrada em duas, e nesse processo há entrada de molécula de água.



Esquema de síntese por desidratação.

Esquema de quebra por hidrólise.



3. Os sais minerais

Os sais minerais podem participar como constituintes de estruturas esqueléticas do corpo dos seres vivos, como é o caso do fosfato de cálcio, abundante nos ossos e nos dentes. Podem também ocorrer dissolvidos em água, caso em que eles se dissociam em íons, que são partículas com carga elétrica positiva ou negativa. Os íons são fundamentais ao metabolismo celular.

A tabela seguinte apresenta resumidamente alguns desses íons, suas principais funções no organismo humano e fontes alimentares:

Íon	Principais funções	Fontes alimentares
Cálcio	Participa da formação e da manutenção de ossos e dentes, e da coagulação sanguínea. Faz parte do processo de transmissão de impulsos nervosos, dos batimentos cardíacos, da regulação da contração muscular.	Leite e derivados vegetais verde-escuros.
Fósforo	Participa da formação e manutenção de ossos e dentes. Faz parte da molécula de ácido nucléico e de uma importante substância: o ATP (trifosfato de adenosina), que atua na célula como reserva de energia.	Leite e derivados, carnes, aves, peixes, cereais, legumes.
Potássio	Participa do processo de contração muscular, da regulação da pressão sanguínea, do processo de transmissão de impulsos nervosos, da manutenção do equilíbrio hídrico. Participa da síntese de glicogênio, de proteínas e do metabolismo energético.	Verduras, frutas, leguminosas, carnes, leite.
Sódio	Participa da regulação do equilíbrio hídrico, da transmissão dos impulsos nervosos e do relaxamento muscular.	Sal comum de cozinha.
Cloro	Participa da manutenção do equilíbrio hídrico.	Sal comum de cozinha.
Magnésio	Tem participação na contração muscular. É ativador dos sistemas produtores de energia.	Cereais, vegetais e frutas.
Ferro	Componente da hemoglobina e da mioglobina — pigmentos que têm grande afinidade com gases respiratórios, principalmente o oxigênio.	Carnes, fígado, vegetais verde-escuros, leguminosas.
Zinco	Constituinte das enzimas e dos hormônios que participam das principais vias metabólicas. Atua no processo de cicatrização. Componente das enzimas envolvidas na digestão.	Carnes, fígado, ovos, mariscos, cereais.
Cobre	Componente das enzimas que participam do metabolismo da hemoglobina junto ao ferro.	Fígado, mariscos, nozes e leguminosas.
Iodo	Componente dos hormônios da glândula tireóidea (tireóide), que regulam o metabolismo. Sua falta pode determinar o hipotireoidismo, que pode levar ao desenvolvimento acentuado da glândula tireóidea, determinando o bócio.	Peixes, frutos do mar e sal iodado.
Flúor	Atua na manutenção da estrutura dos ossos e do esmalte dos dentes.	Água fluorada.
Cromo	Atua no metabolismo energético e no metabolismo da glicose.	Cereais integrais, levedo de cerveja e carnes.
Selênio	Funciona em íntima associação com a vitamina E.	Mariscos, carnes, fígado, cereais e leguminosas.
Manganês	Contribui na utilização da glicose para o fornecimento de energia.	Cereais, frutas e verduras.
Molibdênio	Componente de algumas enzimas.	Cereais integrais, leguminosas e leite.

4. Vitaminas

Um grupo muito importante de substâncias orgânicas essenciais é o das vitaminas. Quimicamente, as vitaminas não formam uma classe homogênea, sendo substâncias com diferentes origens.

As vitaminas solúveis em água são chamadas **hidrossolúveis** e as vitaminas solúveis em lipídios, **lipossolúveis**.

O termo vitamina é empregado para substâncias orgânicas necessárias em pequenas quantidades

para as atividades metabólicas de um organismo e que não são sintetizadas por ele.

A falta de vitaminas pode causar doenças chamadas **avitaminoses**, e a ingestão delas muito além das doses recomendadas pode ser prejudicial, determinando as **hipervitaminoses**.

As necessidades diárias de vitaminas são supridas por meio de uma alimentação variada.

Veja a seguir alguns dados sobre vitaminas importantes para a espécie humana:

	Vitaminas	Principais fontes	Sintomas de sua deficiência
H I D R O S S O L Ú V E I S	B ₁ — Tiamina	Carnes, legumes, cereais integrais e verduras.	Beribéri (inflamação e degeneração dos nervos), insuficiência cardíaca, distúrbio mental.
	B ₂ — Riboflavina	Laticínios, carnes, cereais integrais, verduras, leite, ovos e fígado.	Fissuras na pele, como rachaduras no canto da boca.
	B ₃ — Niacina ou nicotinamida ou, ainda, vitamina PP (preventiva da pelagra)	Nozes, carnes, cereais integrais e fígado.	Pelagra (lesões na pele, diarreia e distúrbios nervosos).
	B ₅ — Ácido pantotênico	Carnes, laticínios, cereais integrais e verduras.	Anemia, fadiga, dormência, formigamento nas mãos e nos pés.
	B ₆ — Piridoxina	Carnes, verduras, cereais integrais, leite, fígado e peixe.	Irritabilidade, convulsões, anemia, contrações musculares involuntárias.
	B ₉ — Ácido fólico	Vegetais verdes, laranjas, nozes, legumes, cereais integrais. É também sintetizado em nosso corpo pelas bactérias da flora intestinal normal.	Anemia, problemas gastrointestinais.
	B ₁₂ — Cobalaminas	Carnes, ovos e laticínios.	Anemia perniciosa, distúrbios do sistema nervoso, hemácias malformadas.
	H — Biotina	Legumes, verduras e carnes.	Distúrbios neuromusculares, inflamações na pele.
	C — Ácido ascórbico	Frutas (especialmente as cítricas), verduras e legumes.	Escorbuto (lesões na mucosa intestinal, com hemorragias; sangramento das gengivas; fraqueza).
L I P O S S O L Ú V E I S	A — Retinol	Vegetais verdes e amarelos, frutas amarelas e alaranjadas, fígado, leite e derivados, gema de ovo, óleo de fígado de bacalhau. Alimentos ricos em betacaroteno, precursor da vitamina A.	Problemas de visão, especialmente cegueira noturna; atua nas reações de renovação de células da epiderme humana, e por isso o ácido retinóico, uma das formas de vitamina A, tem sido usado para a renovação da epiderme.
	D — Vários compostos derivados de esteróides pertencem à família da vitamina D e todos desempenham a mesma função. O mais importante deles é o colecalfiferol . A maior parte dessa substância é formada a partir do dehidrocolesterol presente na pele, sob a ação de raios ultravioleta do sol. Certos alimentos são ricos em compostos da família da vitamina D, sendo todos semelhantes ao colecalfiferol formado na nossa pele a partir do colesterol.	Laticínios, gema de ovo, vegetais ricos em óleos. A vitamina D também é produzida na pele humana sob a ação dos raios solares.	Raquitismo (enfraquecimento e deformação dos ossos em crianças) e enfraquecimento dos ossos nos adultos.
	E — Tocoferol	Germe de trigo, cereais integrais, vegetais folhosos, óleos vegetais, gema de ovo.	Possivelmente anemia e esterilidade.
	K — Filoquinona	Vegetais, chá. Também é produzida por bactérias da flora intestinal normal do ser humano.	Ausência ou dificuldade de coagulação sanguínea.

5. Carboidratos

Os carboidratos são também chamados glucídios, glicídios, hidrocarbonetos, hidratos de carbono ou açúcares. Eles podem ser divididos em três grupos:

- **monossacarídeos:** açúcares simples;
- **dissacarídeos:** açúcares formados por duas moléculas de monossacarídeos;
- **polissacarídeos:** carboidratos formados por muitas moléculas de monossacarídeos.

5.1. Monossacarídeos

Os monossacarídeos são os glicídios mais simples. A fórmula geral de suas moléculas é $(CH_2O)_n$. Eles podem ser considerados reuniões de **n grupos de carbono e água**. Daí o nome hidrato de carbono ou carboidrato.

Os nomes dados aos monossacarídeos dizem respeito ao número de átomos de carbono da molécula:

- **trioses:** com três átomos de carbono ($C_3H_6O_3$);
- **tetroses:** com quatro átomos de carbono ($C_4H_8O_4$);
- **pentoses:** com cinco átomos de carbono ($C_5H_{10}O_5$);
- **hexoses:** com seis átomos de carbono ($C_6H_{12}O_6$).

Para os organismos, os principais monossacarídeos são as pentoses e as hexoses.

Dentre as pentoses existem duas particularmente importantes: a **ribose** e a **desoxirribose**, que participam da constituição dos ácidos nucleicos.

Como principais exemplos de hexoses citamos a **glicose** e a **frutose**, importantes fontes de energia para os seres vivos.

Embora todas as hexoses tenham a mesma fórmula química, elas diferem entre si pela maneira como os átomos se ligam. Assim, a fórmula geral $C_6H_{12}O_6$ serve tanto para a glicose como para a frutose, ou para qualquer outra hexose.

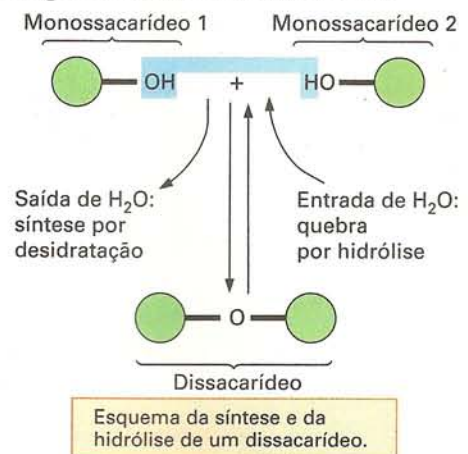
5.2. Dissacarídeos

São formados a partir da união de dois monossacarídeos. A **sacarose** (açúcar da cana) é um exemplo de dissacarídeo formado pela união da glicose

com a frutose. A **lactose** (açúcar do leite) é um dissacarídeo formado por glicose e galactose.

Sempre que duas moléculas de monossacarídeos se unem, há liberação de uma molécula de água, falando-se em **síntese por desidratação**. Inversamente, sempre que duas moléculas de monossacarídeos se separam, há entrada de uma molécula de água, falando-se em **quebra por hidrólise**.

Os dissacarídeos são solúveis em água, mas não são imediatamente aproveitáveis como fonte de energia. Para isso, precisam ser quebrados por hidrólise, dando origem a dois monossacarídeos.



5.3. Polissacarídeos

Os polissacarídeos são formados por várias moléculas de monossacarídeos, principalmente a glicose, unidas entre si formando extensas cadeias. Alguns apresentam nitrogênio ou enxofre em sua fórmula. São insolúveis em água e podem ser desdobrados em açúcares simples por hidrólise.

A insolubilidade dos polissacarídeos é vantajosa para os seres vivos por dois motivos: permite que eles participem como componentes estruturais da célula ou que funcionem como armazenadores de energia.

Como em cada ligação entre dois monossacarídeos há a perda de uma molécula de água, a fórmula geral dos polissacarídeos formados a partir de hexoses é $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Principais polissacarídeos		
Polissacarídeos estruturais	Celulose	Encontrada principalmente nas plantas, onde participa da constituição da parede celular. Quando ingerimos alimentos de origem vegetal, a celulose não é digerida, sendo genericamente denominada fibra . Na dieta humana, a ingestão de fibras é importante para o bom funcionamento dos intestinos.
	Quitina	Polissacarídeo formado por várias moléculas de glicose e também por grupos amina (NH_2). Ocorre na parede celular dos fungos e no exoesqueleto de artrópodes, como insetos, aranhas e crustáceos.
Polissacarídeos energéticos	Amido	Encontrado nas plantas e em alguns protistas; tem função de reserva.
	Glicogênio	Encontrado nos fungos e nos animais; tem função de reserva.

6. Lipídios

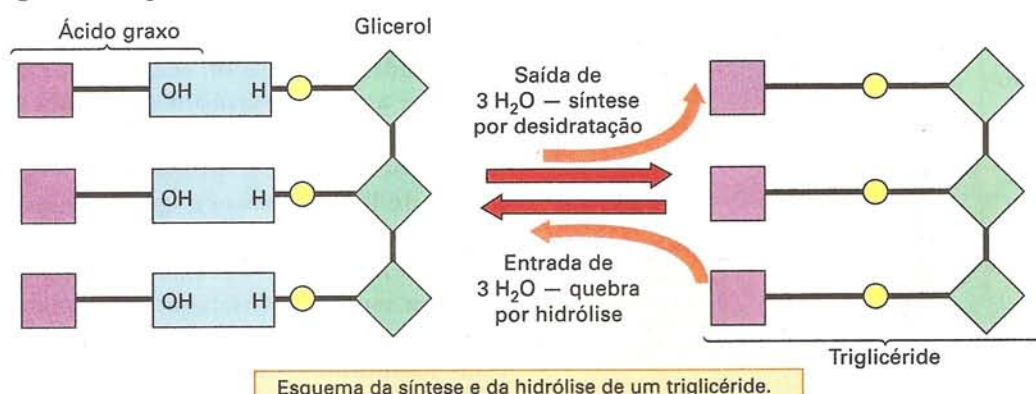
Os lipídios abrangem uma classe de compostos com estrutura muito variada e exercem diferentes funções biológicas. São substâncias fisicamente caracterizadas pela insolubilidade em água e solubilidade em solventes orgânicos, como o éter, o álcool e o clorofórmio.

Os principais grupos de lipídios serão abordados a seguir.

6.1. Triglicérides

Os triglicérides (ou triacilglicerídeos ou triacilgliceróis) são representados por gorduras e óleos. Eles são formados pela reunião de ácidos graxos com glicerol (um álcool). Nessa união há perda de água.

A decomposição dos triglicérides é feita por hidrólise, caso em que há entrada de água e separação dos ácidos graxos do glicerol.



Os óleos são encontrados principalmente em plantas, como é o caso dos óleos de algodão, de amendoim, de milho, de arroz e de soja. Podem ser encontrados também nos animais, como é o caso do óleo de fígado de bacalhau.

As gorduras são mais abundantes nos animais, acumulando-se principalmente em células adiposas. Nos mamíferos, essas células participam da formação de um tecido adiposo bem-desenvolvido, localizado sob a pele. Esse tecido atua como reserva de energia e como proteção contra a perda de calor, pois é um bom isolante térmico.

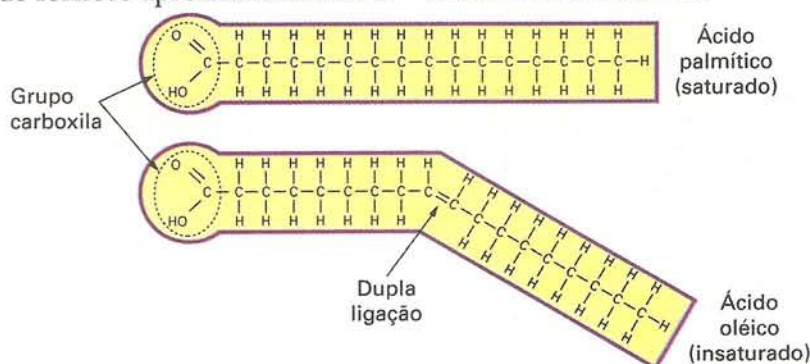
Os triglicérides constituem a maneira mais eficiente de reserva de energia nos seres vivos. Um grama de triglicéride fornece aproximadamente o

dobro da energia que 1 grama de carboidrato. Além disso, os triglicérides constituem uma forma de armazenamento de ácidos graxos, substâncias que participam de importantes processos metabólicos.

Os ácidos graxos são classificados em saturados e insaturados.

As moléculas dos ácidos graxos **saturados** formam a maior parte da gordura animal. Esta fica armazenada principalmente em células adiposas (*adipe* = gordura animal; *oso* = cheio de) que podem estar organizadas em tecidos adiposos.

As moléculas dos ácidos graxos **insaturados** ocorrem nos óleos presentes em plantas, como o girassol, o milho e a canola, e em certos peixes, como o salmão e o bacalhau.



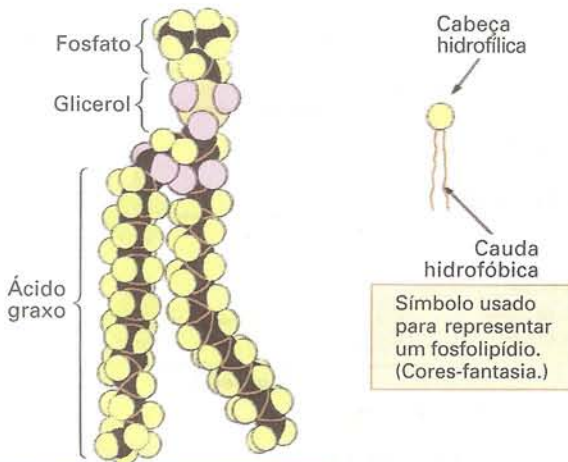
Fórmula estrutural do ácido palmítico e do ácido oléico, que são ácidos graxos.

No caso do ser humano, dietas ricas em ácidos graxos saturados podem contribuir para a ocorrência de doenças cardiovasculares, como a **arteriosclerose**.

Alguns dos tipos de ácido graxo são considerados **essenciais**, pois não são sintetizados pelo organismo, devendo provir diretamente da dieta. Para a espécie humana, por exemplo, é considerado essencial o ácido graxo insaturado chamado **linoléico**, pertencente à família **ômega 6**. Ele ocorre em óleos vegetais, principalmente de milho, girassol, gergelim, linhaça, canola e soja.

6.2. Fosfolipídios

Os fosfolipídios são lipídios unidos a um grupo fosfato.



Esquema da estrutura da molécula de fosfolipídio. (Cores-fantasia.)

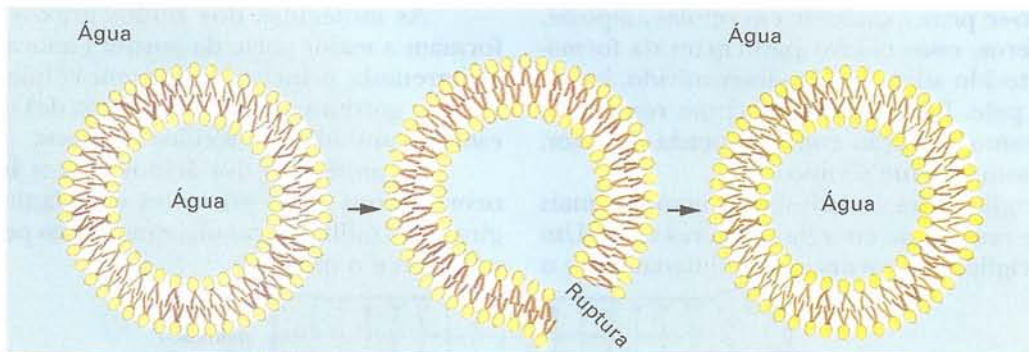
A membrana plasmática e todas as membranas celulares são formadas basicamente por

duas camadas de fosfolipídios, com proteínas imersas nessas camadas. São, por isso, chamadas membranas lipoprotéicas. A estrutura mais detalhada dessas membranas será estudada em outro capítulo.

As moléculas de fosfolipídio têm um comportamento particular em relação à água: uma parte da molécula possui afinidade com a água e outra parte não a possui. Diz-se que essas moléculas são formadas por uma “cabeça hidrofílica” e uma “cauda hidrofóbica”. Devido a essa propriedade, quando essas moléculas estão completamente envoltas por água, elas se dispõem naturalmente em duas camadas, de modo que ficam com a parte hidrofílica da molécula em contato com a água e a parte hidrofóbica de uma camada em contato com a parte hidrofóbica da outra camada. A formação de membranas com duas camadas de lipídios assim dispostas é, portanto, um processo natural.

Além disso, essas camadas de lipídios tendem a se unir em suas extremidades, formando compartimentos fechados. Quando, por qualquer motivo, essas membranas são separadas, elas tendem a se unir novamente. Isso explica o grande poder de recuperação das membranas celulares.

Essa camada dupla de lipídios apresenta outra característica que a torna ideal para as membranas celulares: ela é fluida, permitindo movimentação de moléculas no plano da membrana.



Representação esquemática da disposição natural de moléculas de fosfolipídios quando colocadas em meio aquoso. Se essa estrutura é rompida, ela tende a se fechar novamente.

6.3. Cerídeos

Os cerídeos são representados pelas ceras.

As ceras impermeabilizam as superfícies de folhas, frutos e pétalas, reduzindo, dessa forma, a evaporação. Servem, assim, como um dos mecanismos para evitar a perda de água em plantas.

As abelhas são exemplos de animais que produzem cera, com a qual constroem suas colméias.

6.4. Esteróides

Os esteróides formam um grupo particular de lipídios relativamente complexos.

O esteróide mais abundante nos tecidos animais é o **colesterol**. Ele participa da composição química das membranas celulares das células animais e é precursor do hormônio sexual masculino (**testosterona**), do hormônio sexual feminino (**estrógeno**), dos

sais biliares e da vitamina D. Apesar de ser muito importante para o organismo, seu excesso pode ser nocivo à saúde humana, pois ele pode se acumular na parede interna dos vasos sanguíneos, endurecendo-a e diminuindo a eficiência da passagem do sangue, o que caracteriza a doença arteriosclerose.

No sangue humano o colesterol pode ser transportado associado a lipoproteínas (proteínas ligadas a lipídios) plasmáticas. Essas lipoproteínas podem ser de baixa densidade, identificadas pela sigla **LDL** (do inglês: *low density lipoprotein*), ou de alta densidade, identificadas pela sigla **HDL** (do inglês: *high density lipoprotein*).

A **LDL** fornece colesterol aos tecidos, sendo por isso chamada “mau colesterol”; já a **HDL**, chamada “bom colesterol”, **remove** o excesso de colesterol das células, transportando-o para o fígado, onde é degradado e excretado sob a forma de sais biliares.

Note que a denominação de mau e bom colesterol refere-se ao papel desempenhado pelas lipoproteínas, já que a molécula de colesterol é a mesma nos dois casos.

Plantas e fungos não produzem colesterol, mas sintetizam outros esteróides.

7. Proteínas

As proteínas são formadas essencialmente por carbono (C), oxigênio (O), nitrogênio (N) e hidrogênio (H), mas podem apresentar enxofre (S). São macromoléculas formadas pela união de várias moléculas menores denominadas **aminoácidos**. Elas participam da composição de muitas estruturas do corpo dos seres vivos, tendo, principalmente, função plástica, embora também possam ter função energética.

Além disso, existem proteínas que desempenham muitas outras funções importantes para os seres vivos, como, por exemplo:

- as **enzimas**, substâncias que aumentam a velocidade das reações químicas;
- os **anticorpos**, substâncias fundamentais nos mecanismos de defesa do corpo dos seres vivos;
- alguns **hormônios**, como a **insulina** e o **glucagon**, que atuam no metabolismo de açúcares.

Essa grande diversidade de funções está relacionada ao imenso número de tipos diferentes de proteína: cada um deles desempenha determinada função.

Vamos começar a estudar as proteínas a partir de suas unidades constituintes: os **aminoácidos**.

7.1. Aminoácidos

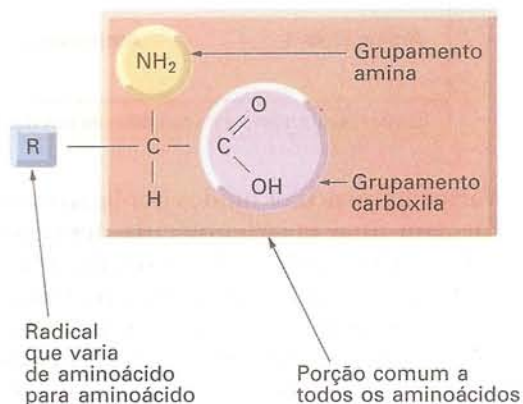
Os aminoácidos são também chamados **monopeptídeos**.

Existem vinte tipos de aminoácido que podem participar da formação das proteínas:

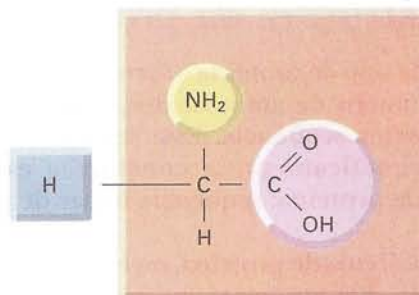
Alanina (ala)	Isoleucina (ile)
Arginina (arg)	Leucina (leu)
Asparagina (asn)	Lisina (lis)
Aspartato (asp)	Metionina (met)
Cisteína (cis)	Prolina (pro)
Fenilalanina (fen)	Serina (ser)
Glicina (gli)	Tirosina (tir)
Glutamato (glu)	Treonina (tre)
Glutamina (gln)	Triptofano (tri)
Histidina (his)	Valina (val)

Todos eles possuem em suas moléculas um grupamento **amina** (NH_2) e um grupamento **carboxila** ou **ácido** (COOH), de onde deriva o nome **aminoácido**. Esses grupamentos estão ligados a um mesmo átomo de carbono, que, por sua vez, está ligado a um átomo de hidrogênio e a um radical que varia de aminoácido para aminoácido.

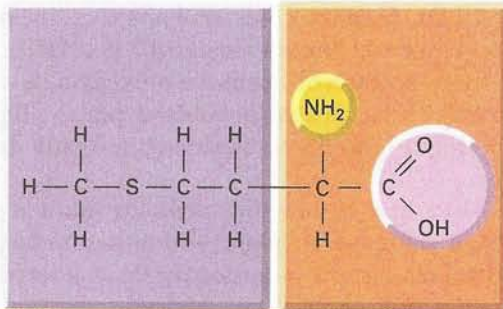
Portanto, é em função desse radical que se diferenciam os tipos de aminoácido. Veja, nas figuras seguintes, um esquema da fórmula estrutural geral dos aminoácidos e, como exemplo, as estruturas de dois deles: glicina e metionina.



Fórmula estrutural geral das moléculas de aminoácidos.



Fórmula estrutural da **glicina**: o radical é o hidrogênio.



Fórmula estrutural da **metionina**: o radical apresenta cadeia carbônica linear, contendo enxofre (S).

As células vegetais sintetizam os vinte tipos de aminoácidos, mas as células animais não sintetizam todos eles. Em razão disso, os animais devem obter esses aminoácidos por meio da alimentação.

Os aminoácidos produzidos por um organismo são chamados **naturais**, enquanto os que necessitam ser ingeridos, por não serem sintetizados pelo organismo, são chamados **essenciais**. Um aminoá-

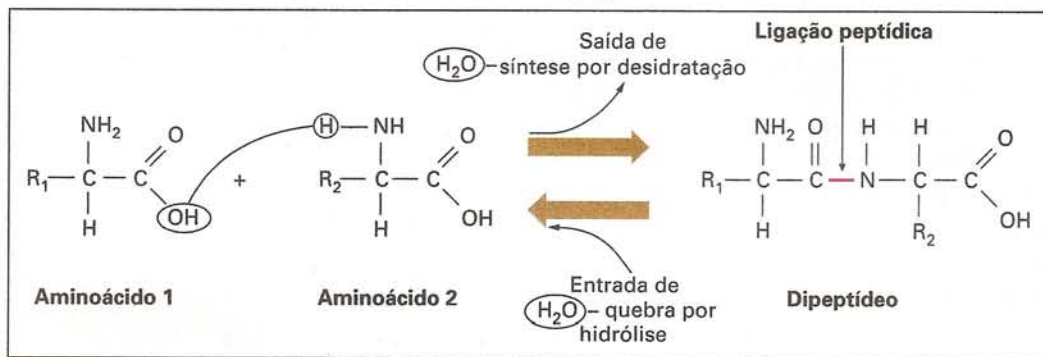
cido pode ser essencial para uma espécie e não ser para outra. No caso da espécie humana, os aminoácidos essenciais são arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina.

Um dos motivos da importância de uma alimentação variada está no fato de que poucos alimentos contêm todos os aminoácidos essenciais.

7.2. Ligação peptídica

A ligação que une os aminoácidos é denominada **ligação peptídica**, caracterizada pela reação do grupamento amina de um aminoácido com o grupamento carboxila de outro, havendo liberação de uma molécula de água. As ligações peptídicas podem ser quebradas por hidrólise e, nesse caso, os aminoácidos retornam à condição inicial.

Dois aminoácidos unidos por uma ligação peptídica formam uma molécula denominada **dipeptídeo**.



Esquema da síntese e da hidrólise de um dipeptídeo.

Vários aminoácidos unidos por ligações peptídicas formam uma macromolécula denominada **polipeptídeo**. Uma molécula de proteína pode ser formada por apenas uma cadeia polipeptídica, como é o caso da **albumina** presente na clara do ovo. Outras moléculas de proteína podem ser formadas por mais de uma cadeia polipeptídica; é o caso da **hemoglobina**, composta de quatro cadeias polipeptídicas.

7.3. Estrutura da proteína

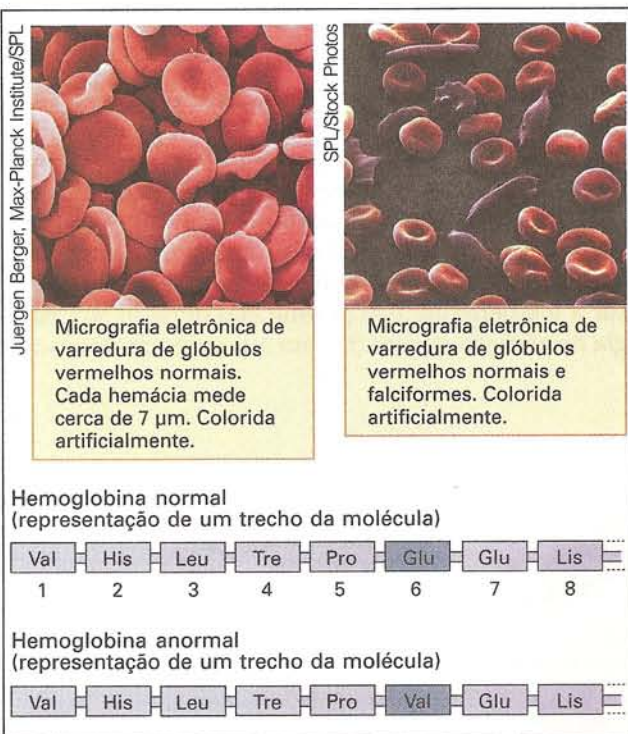
Cada tipo de proteína é formado sempre pelo mesmo número de aminoácidos, ordenados sempre na mesma sequência. Essa sequência é determinada geneticamente e constitui a estrutura primária da proteína: sequência linear de aminoácidos.

A molécula de proteína, no entanto, não é um fio esticado. Ela apresenta dobramentos e enrolamentos determinados por atrações químicas entre

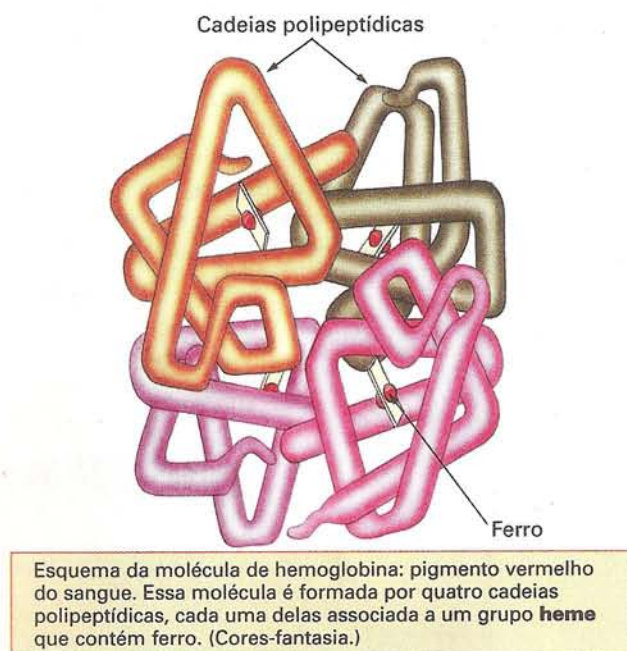
os aminoácidos. Esses dobramentos conferem às proteínas formas tridimensionais, que correspondem às estruturas secundárias e às terciárias. Quando duas ou mais cadeias se unem para formar uma proteína, temos a estrutura quaternária.

Como cada tipo de proteína tem sempre a mesma estrutura primária, que é determinada geneticamente, terá também a mesma forma e, conseqüentemente, sempre a mesma função. Fica evidente, então, a importância da sequência dos aminoácidos na proteína. Alterações que possam ocorrer nela, em função de mutações do material genético (mutação gênica), podem provocar alterações na forma e na função. Um exemplo bem conhecido é o da substituição, determinada geneticamente, do aminoácido glutamato pela valina na molécula de hemoglobina.

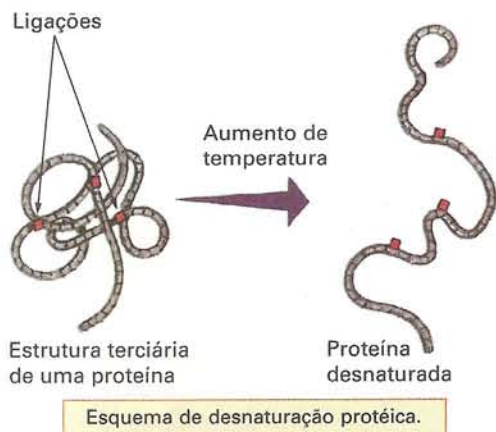
As hemácias portadoras dessa hemoglobina anormal apresentam-se sob a forma de foice, e o indivíduo manifesta uma doença denominada **anemia falciforme** ou **siclemia**, que pode ser letal.



exemplo de proteína conjugada: ela possui ferro em sua molécula.



Alterações na forma das proteínas podem ser causadas por outros fatores, como altas temperaturas. Nesses casos falamos em **desnaturação** da proteína, que se torna inativa. A desnaturação pode ser reversível, voltando o meio às condições naturais da proteína. Em muitos casos, no entanto, é um processo irreversível, como acontece com a albumina da clara do ovo: com o aquecimento, a albumina sofre desnaturação e a clara endurece; após o resfriamento, a clara não volta a se liquefazer.



As proteínas conjugadas podem ser classificadas em:

- **cromoproteínas:** o grupo prostético confere cor à proteína;
- **glicoproteínas:** o grupo prostético é um glicídio;
- **lipoproteínas:** o grupo prostético é um lipídio;
- **nucleoproteínas:** o grupo prostético é um ácido nucléico.

Algumas proteínas importantes são:

- **insulina:** sintetizada no pâncreas, participa da redução do nível de açúcar no sangue;
- **globina:** participa da molécula de hemoglobina, pigmento vermelho do sangue responsável pelo transporte de gases respiratórios, principalmente do oxigênio;
- **albumina:** encontrada especialmente na clara de ovos como os de aves, sendo importante para a nutrição do embrião;
- **fibrinogênio:** importante componente do plasma sanguíneo, participando dos processos de coagulação;
- **queratina:** participa da formação de estruturas como unhas, pêlos, chifres e cascos de animais;
- **caseína:** proteína encontrada no leite;
- **colágeno:** encontrado na pele humana, fornecendo elasticidade. É a proteína mais abundante do corpo humano.

As proteínas podem ser classificadas em simples ou conjugadas.

As **simples** são formadas apenas por aminoácidos, enquanto as **conjugadas** contêm outros componentes, além dos aminoácidos, que são chamados **grupo prostético**. A hemoglobina é um

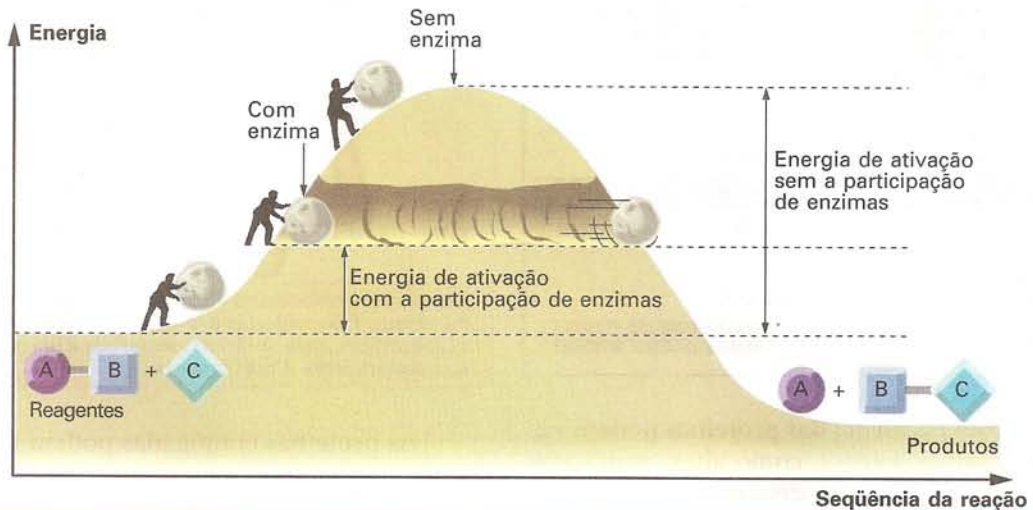
8. Enzimas

As reações biológicas são pouco espontâneas e muito lentas. Isso significa que, se deixarmos os reagentes de uma reação em contato, eles podem não interagir, e caso a interação ocorra a velocidade da reação poderá ser muito lenta.

Uma das maneiras de fornecer aos reagentes a energia necessária é aumentar sua temperatura: as moléculas movimentam-se mais rapidamente, aumentando a probabilidade de se

chocarem com energia suficiente para provocar a reação química.

Para os seres vivos, no entanto, é importante que as reações ocorram em velocidade adequada, mas sem aumento significativo da temperatura para que não ocorra a desnaturação de proteínas. Nos seres vivos, as enzimas aumentam a velocidade das reações sem elevar a temperatura. Isso porque elas diminuem a **energia de ativação** necessária para a ocorrência da reação.

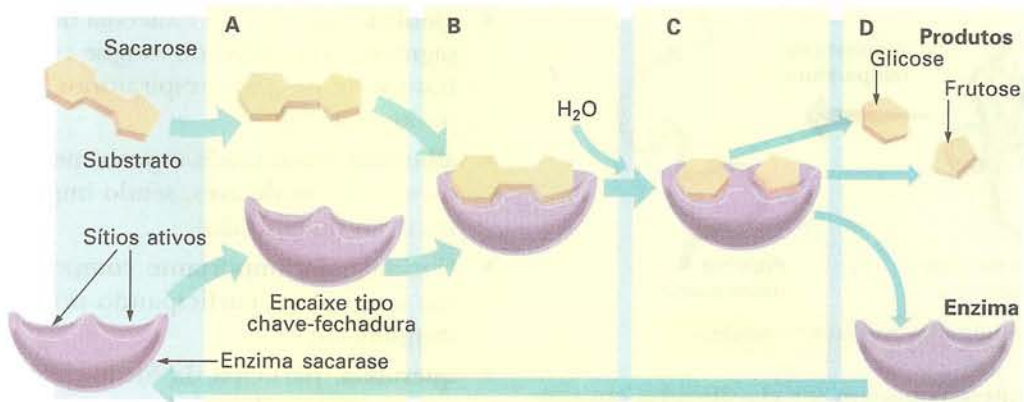


Representação artística para explicar a ação de enzimas na redução da energia de ativação necessária para que uma reação química ocorra.

São vários os tipos de enzimas, mas cada um deles ocorre em pequenas quantidades no organismo. Elas são moléculas extremamente específicas, isto é, atuam somente sobre um determinado composto e efetuam sempre o mesmo tipo de reação. O composto sobre o qual a enzima age é genericamente denominado **substrato**. A grande especificidade enzima-substrato está relacionada à forma tridimen-

sional de ambos. Eles se encaixam perfeitamente como chaves em fechaduras. Essa teoria da atividade enzimática é denominada **Teoria da Chave-Fechadura**.

Outra característica importante das enzimas é que, após ocorrer a reação, elas permanecem quimicamente intactas, podendo participar novamente do mesmo tipo de reação.



Representação artística da ação enzimática tomando como exemplo a enzima sacarase, que quebra a molécula de sacarose em duas partes: a glicose e a frutose.

A — A sacarose (substrato) encaixa-se em sítios ativos na enzima.

B — Essa união induz ligeira mudança de forma da enzima, de modo que ela fique bem unida ao substrato.

C — Aminoácidos do sítio ativo quebram a ligação entre a glicose e a frutose, juntamente com a entrada de água.

D — A enzima solta-se dos produtos e adquire a forma inicial, ficando pronta para reiniciar o ciclo.

As enzimas geralmente recebem nomes relacionados com o substrato sobre o qual atuam, mais o sufixo **ase**. Por exemplo: lipases são enzimas que atuam sobre lipídios; proteases são enzimas que atuam sobre proteínas; amilases são enzimas que atuam sobre amido. Nem todas as enzimas, entretanto, seguem esse padrão de nomenclatura, como é o caso da ptialina, da pepsina e da tripsina, por exemplo.

8.1. Fatores que influenciam a atividade enzimática

A velocidade das reações químicas catalisadas por enzimas aumenta até certo ponto com a elevação da **temperatura**. A partir de certa temperatura ótima, cujo valor varia dependendo da enzima, ocorre desnaturação protéica, o que torna a enzima inativa. Há alteração de sua forma, e com isso ela deixa de se acoplar ao substrato, não havendo mais a formação do complexo enzima-substrato. A velocidade da reação, então, diminui rapidamente.

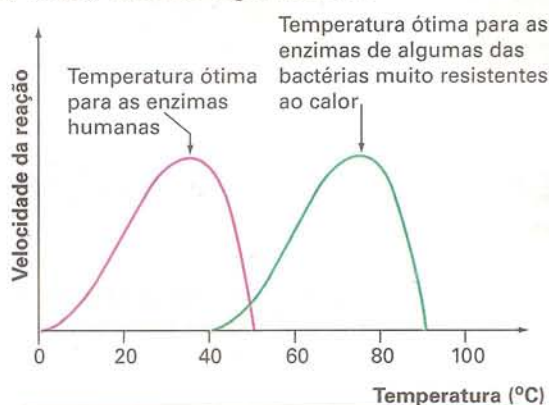
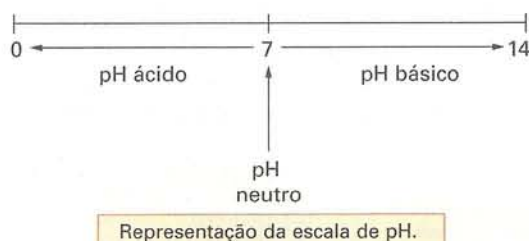


Gráfico que representa o efeito da temperatura na velocidade de reações catalisadas por enzimas.

Outro fator que interfere na atividade enzimática é o **pH**, índice que nos informa se uma solução é ácida, básica ou neutra. Sua escala vai de 0 a 14, sendo que pH = 7 corresponde ao pH neutro. Valores

abaixo de 7 indicam que a solução é ácida; valores acima de 7, que é básica.



Cada enzima tem seu ótimo de atividade em um determinado pH (pH ótimo). Qualquer alteração no pH do meio pode provocar desnaturação e conseqüente inativação da enzima.

Veja os dois exemplos a seguir:

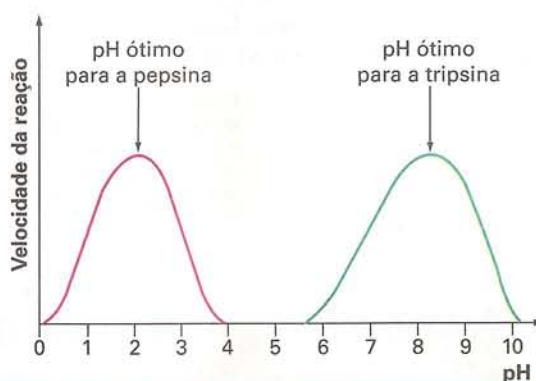


Gráfico que representa exemplos de efeito do pH na velocidade de reações catalisadas por enzimas.

A **pepsina** é produzida no estômago e atua sobre proteínas, degradando-as em moléculas menores. O pH ótimo da pepsina está ao redor de 2,0, atuando, portanto, em meio ácido.

A **tripsina** é produzida no pâncreas e lançada no duodeno, onde participa da degradação de proteínas que não foram digeridas no estômago. O pH ótimo da tripsina está ao redor de 8,0, atuando, portanto, em meio básico.

9. Os ácidos nucleicos

Existem basicamente dois tipos de ácido nucleico: o ácido desoxirribonucleico (DNA) e o ácido ribonucleico (RNA).

O **DNA** é o principal constituinte dos cromossomos, e é nele que estão os genes, responsáveis por todas as características dos indivíduos.

O **RNA** é formado a partir do DNA e participa principalmente do processo de síntese de proteínas.

Tanto o DNA como o RNA são formados por várias unidades que recebem o nome de **nucleotí-**

deos. Por isso, esses ácidos nucleicos são chamados **polinucleotídeos** (*poli* = muitos).

Cada nucleotídeo é formado por três outras moléculas:

- **fosfato**;
- **açúcar**, que no DNA é a desoxirribose e no RNA é a ribose;
- **base nitrogenada**, que pode variar de nucleotídeo para nucleotídeo; os nucleotídeos são reconhecidos pela base nitrogenada que contêm.

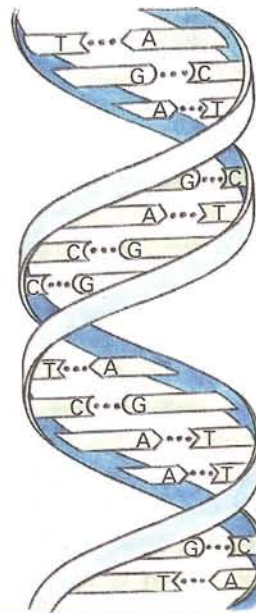
As bases nitrogenadas podem ser:

- **púricas:** adenina e guanina;
- **pirimídicas:** timina, citosina e uracila.

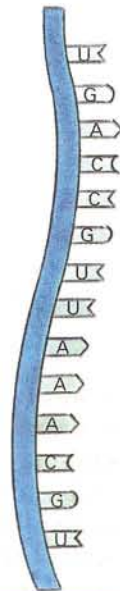
A adenina, a guanina e a citosina são comuns às moléculas de DNA e de RNA. A base timina só ocorre no DNA e a base uracila só no RNA.

	DNA	RNA
Bases púricas	Adenina (A) Guanina (G)	Adenina (A) Guanina (G)
Bases pirimídicas	Citosina (C) Timina (T)	Citosina (C) Uracila (U)
Pentose	Desoxirribose	Ribose

A disposição dos nucleotídeos na molécula de DNA e na molécula de RNA está representada esquematicamente ao lado. Trataremos dessas moléculas com detalhes mais adiante.



Representação de um trecho da molécula de DNA — uma dupla-hélice, como uma “escada em espiral”: a desoxirribose e o fosfato de cada nucleotídeo formam os “corrimãos” dessa escada e as bases nitrogenadas, unidas entre si por pontes de hidrogênio, formam os “degraus”. (Cores-fantasia.)

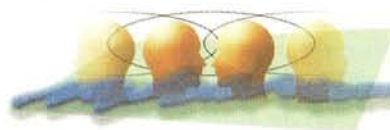


Representação de um trecho da molécula de RNA — um filamento simples: não forma uma dupla-hélice. (Cores-fantasia.)



QUESTÕES PARA ESTUDO

- Procure reunir argumentos para explicar a uma pessoa leiga a importância de se ter uma alimentação variada e equilibrada.
- O escorbuto e o beribéri foram avitaminoses muito frequentes entre os antigos navegadores. A dieta que eles tinham nas longas viagens de navio era muito pobre, sem frutas ou verduras. O estudo dessas doenças, na época, contribuiu para se descobrir a importância de substâncias necessárias em pequenas quantidades para o ser humano e que precisam ser ingeridas na alimentação, pois seu corpo não as produz. Essas substâncias receberam o nome de vitaminas. Como você explicaria o que causa o escorbuto e o beribéri?
- Explique por que a água é tão importante para os seres vivos.
- Faça um esquema mostrando como as moléculas de água se unem.
- Explique o que são substâncias hidrofílicas e hidrofóbicas. Dê exemplos.
- Cite quatro exemplos de sais minerais importantes para os seres humanos, diga qual é o papel que cada um deles desempenha em nosso corpo e quais são os principais alimentos que os contêm.
- Explique o significado das seguintes expressões, muito usadas na linguagem popular: “bom colesterol” e “mau colesterol”.
- Esquematize duas moléculas de aminoácidos e, depois, uma ligação peptídica entre elas.
- Conceitue aminoácido natural e aminoácido essencial.
- Explique o que é e o que causa a desnaturação protéica.
- Explique como atuam as enzimas.
- Utilizando gráficos, explique a influência da temperatura na atividade enzimática.
- Utilizando gráficos, explique a influência do pH na atividade enzimática e dê exemplos.
- Diga quais são os dois tipos de ácido nucléico e qual é a importância deles para os seres vivos.
- Esquematize um nucleotídeo e suas moléculas constituintes e diga quais são os nucleotídeos que formam os dois tipos de ácido nucléico.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Contando calorias

As células do nosso corpo precisam de energia para viver, repor perdas e fazer mais matéria orgânica que nos permita crescer.

Essa energia é fornecida pelos alimentos que ingerimos. Após a digestão desses alimentos, carboidratos, proteínas, lipídios, ácidos nucleicos são degradados em seus elementos constituintes, no nosso trato digestório, e distribuídos pelo sangue para as células do nosso corpo.

A energia dos alimentos é geralmente medida em quilocalorias (kcal), embora as pessoas, por hábito, utilizem como sinônimo o termo Calorias (Cal).

Cada pessoa necessita, para realizar suas atividades, de um mínimo de energia, cujo valor varia de acordo com a idade, a estatura, a estrutura óssea e a atividade física, dentre outros fatores. Em geral, uma aluna do Ensino Médio que tenha uma atividade normal, sem exagero em atividade física, necessita em torno de 2000 kcal por dia. Um aluno do Ensino Médio, nas mesmas condições, necessita em torno de 2500 kcal por dia.

Um grama de carboidrato ou de proteína fornece cerca de 4 kcal, enquanto 1 grama de lipídio fornece cerca de 9 kcal.

Para você ter uma idéia da quantidade de calorias de alguns alimentos e do que é necessário fazer para queimar todas as calorias contidas neles, analise a figura a seguir:

Alimentos	Atividades	Tempo
 Cheeseburger 470 Cal	Correr	32 min
	Andar de bicicleta	39 min
	Nadar	43 min
	Jogar tênis	61 min
	Andar	82 min
	Descansar	6 h 30 min

Alimentos	Atividades	Tempo
 Sorvete 255 Cal	Correr	17 min
	Andar de bicicleta	21 min
	Nadar	23 min
	Jogar tênis	33 min
	Andar	45 min
	Descansar	3 h 30 min
 Pizza 185 Cal	Correr	12 min
	Andar de bicicleta	15 min
	Nadar	17 min
	Jogar tênis	24 min
	Andar	32 min
	Descansar	2 h 32 min
 Maçã 70 Cal	Correr	5 min
	Andar de bicicleta	6 min
	Nadar	7 min
	Jogar tênis	9 min
	Andar	12 min
	Descansar	58 min

A tabela mostra quanto tempo o organismo gasta para queimar as Calorias dos alimentos em cada atividade.

Quando ingerimos alimentos acima das nossas necessidades diárias, o inevitável acontece: engordamos. O alimento ingerido em excesso é em grande parte transformado em gordura e depositado nas nossas células adiposas.

Assim, o segredo para manter o nosso peso adequado é comer somente o necessário para fornecer a energia de que o nosso corpo precisa para funcionar bem. Se comermos mais, engordamos. Se comermos menos, nossos estoques de gordura vão diminuindo, pois a gordura que estava reservada vai sendo “queimada”, ou seja, degradada, a fim de fornecer a energia necessária para o funcionamento do nosso organismo; nesse caso, emagrecemos.

Em dietas para emagrecimento deve-se reduzir a ingestão de calorias de acordo com orientação médica.

Índice de massa corpórea

O índice de massa corpórea (IMC) vem sendo utilizado na determinação de parâmetros de saúde.

Para cada pessoa esse índice é calculado dividindo-se sua massa em quilogramas (a massa é popularmente chamada de “peso”) por sua altura (em metros) elevada ao quadrado.

$$\text{IMC} = \frac{\text{“peso”}}{(\text{altura})^2}$$

Por exemplo, se uma pessoa “pesa” 55 kg e mede 1,60 m, seu índice de massa corpórea é: 55 dividido por 2,56 (que corresponde a $1,60 \times 1,60$), o que dá um IMC de 21,48.

De acordo com dados da Academia Nacional de Saúde dos Estados Unidos da América, os valores de referência considerados dentro da normalidade para esses índices são os seguintes:

- faixa etária abaixo de 45 anos, IMC de 20 a 26;
- faixa etária de 45 a 54 anos, IMC de 22 a 27;
- faixa etária de 55 a 65 anos, IMC de 23 a 28;
- faixa etária acima de 65 anos, IMC de 24 a 29.

Manter um índice de massa corpórea adequado tem sido considerado importante para se ter boa saúde.

Calcule seu índice de massa corpórea e veja se está dentro dos limites para sua faixa etária. Troque idéias a respeito desse assunto com um médico para obter mais informações. O emprego desse índice não pode ser absoluto e deve-se sempre solicitar uma orientação de um médico ou nutricionista.

Além de nos preocuparmos com as calorias, devemos nos preocupar também em ter uma dieta balanceada, rica em vitaminas e sais minerais, e em ingerir água.

Muitos são os alimentos *diet* e *light* disponíveis no mercado e que vêm sendo utilizados em dietas.

Os alimentos *diet* são voltados para uma população específica, como é o caso dos diabéticos, e **não** apresentam açúcar em sua composição. Este, no caso, é substituído por um composto análogo, que pode ser qualquer edulcorante artificial, como o aspartame.

Edulcorante é o nome que se dá a qualquer adoçante; o açúcar é um edulcorante natural e o aspartame, um edulcorante artificial.

Os edulcorantes artificiais apresentam valor energético muito baixo e por isso são utilizados também por pessoas que fazem dietas para emagrecimento.

É importante lembrar que essas dietas devem sempre seguir orientação médica, pois algumas pes-

soas não podem ingerir certos tipos de edulcorante, como os que contêm **fenilalanina**, um aminoácido.

Certas pessoas apresentam uma doença genética chamada **fenilcetonúria**. Em função dessa doença, não podem ingerir fenilalanina, pois correm o risco de sofrer danos, principalmente cerebrais. O teste do pezinho, feito nas maternidades de todo o país assim que as crianças nascem, visa justamente detectar precocemente pessoas com essa doença. Quando a fenilcetonúria é detectada, a família pode receber orientação alimentar adequada de modo que não haja danos maiores para a criança.

Os alimentos *light* caracterizam-se por serem uma baixa fonte de calorias. Por isso, compostos de elevado teor energético, como lipídios e carboidratos, estão presentes em baixa quantidade nesses alimentos. Edulcorantes artificiais também podem ser usados nesse tipo de alimento em substituição ao açúcar.

- Procure fazer um levantamento de sua alimentação durante uma semana, anotando o que e quanto ingere por dia. Consulte tabelas que forneçam a quantidade de quilocalorias dos alimentos e calcule quantas quilocalorias você ingere por dia. Depois, analise sua dieta com relação a vitaminas e sais minerais e pondere se sua alimentação está adequada a suas atividades. Procure obter mais orientações com médicos e nutricionistas.



TESTES

1. (UFRN) A hemorragia decorrente da ingestão de trevo doce por bovinos e ovinos se deve ao dicumarol, substância presente nesse vegetal e que exerce ação antagonista à vitamina:

- a) E.
- b) B₁₂.
- c) B₁.
- d) K.

2. (Unifor-CE) Fizeram-se as seguintes afirmações sobre compostos químicos das células:

- I. As proteínas são formadas por seqüências de aminoácidos.
- II. A membrana plasmática tem constituição lipoprotéica.
- III. Os carboidratos e os lipídios são componentes inorgânicos das células.

Está correto **SOMENTE** o que se afirma em:

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) I e II.
- e) II e III.

3. (UFCE) As vitaminas foram descobertas há cerca de 100 anos e, a partir dos anos 1980, invadiram as prateleiras das farmácias, na forma de suplementos vitamínicos, com dosagens acima das recomendadas pelas organizações de saúde, o que ainda hoje gera muita discussão sobre os benefícios ou malefícios que esse “banho” de vitaminas pode acarretar ao organismo. Contudo é relevante saber a importância das mesmas para a saúde e de quais fontes alimentícias podemos obtê-las. Considere o quadro abaixo:

Vitamina	Sintoma de carência no organismo	Fontes alimentares
A	1	Fígado, leite, cenoura
B ₁	2	Cereais integrais, carnes magras
C	3	Frutas cítricas
D	4	Peixe, leite, gema de ovo
K	5	Vegetais com folhas verdes, tomate

Indique a alternativa que preenche corretamente o quadro acima, substituindo, respectivamente, os números 1, 2, 3, 4 e 5 pelos sintomas causados devido à carência de cada vitamina no organismo.

- Cegueira noturna, hemorragias, escorbuto, raquitismo e disfunção do sistema nervoso.
- Escorbuto, cegueira noturna, raquitismo, disfunção do sistema nervoso e hemorragias.
- Cegueira noturna, raquitismo, hemorragias, escorbuto e disfunção do sistema nervoso.
- Disfunção do sistema nervoso, raquitismo, escorbuto, cegueira noturna e hemorragias.
- Cegueira noturna, disfunção do sistema nervoso, escorbuto, raquitismo e hemorragias.

4. (UFPI) A hidrólise de moléculas de lipídios produz:

- aminoácidos e água.
- ácidos graxos e glicerol.
- glicose e glicerol.
- glicerol e água.
- ácidos graxos e água.

5. (UFU-MG) O colesterol é um esteróide que constitui um dos principais grupos de lipídios. Com relação a esse tipo particular de lipídio, é correto afirmar que:

- na espécie humana, o excesso de colesterol aumenta a eficiência da passagem do sangue no interior dos vasos sanguíneos, acarretando a arteriosclerose.
- o colesterol participa da composição química das membranas das células animais e é precursor dos hormônios sexuais masculino (testosterona) e feminino (estrógeno).
- o colesterol é encontrado em alimentos tanto de origem animal como vegetal (por ex.: manteigas, margarinas, óleos de soja, milho etc.), uma vez que é derivado do metabolismo dos glicerídeos.
- nas células vegetais, o excesso de colesterol diminui a eficiência dos processos de transpiração celular e da fotossíntese.

6. (UCDB-MT) Indique a alternativa correta, de acordo com as proposições apresentadas.

- As moléculas de glicídios são formadas apenas por átomos de carbono e oxigênio.
 - As moléculas resultantes da união de muitos aminoácidos formam as proteínas.
 - O aumento de temperatura, dentro de certos limites, aumenta a velocidade de uma reação enzimática.
- Somente II e III estão corretas.
 - Somente II está correta.
 - Todas estão corretas.
 - Todas estão erradas.
 - Somente I e II estão corretas.

7. (MACK-SP) Para inibir a ação de uma enzima, pode-se fornecer à célula uma substância que ocupe o sítio ativo dessa enzima. Para isso, essa substância deve:

- estar na mesma concentração da enzima.
- ter a mesma estrutura espacial do substrato da enzima.
- recobrir toda a molécula da enzima.
- ter a mesma função biológica do substrato da enzima.
- promover a desnaturação dessa enzima.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Cada marinheiro da esquadra de Cabral recebia mensalmente para suas refeições 15 kg de carne salgada, cebola, vinagre, azeite e 12 kg de biscoito. O vinagre era usado nas refeições e para desinfetar o porão, no qual, acreditava-se, escondia-se a mais temível enfermidade da vida no mar. A partir do século XVIII essa doença foi evitada com a introdução de frutas ácidas na dieta dos marinheiros. Hoje sabe-se que essa doença era causada pela deficiência de um nutriente essencial na dieta. (Adaptado de: BUENO, E. *A viagem do descobrimento*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.)

- Que nutriente é esse?
- Que doença é causada pela falta desse nutriente?
- Cite duas manifestações aparentes ou sintomas dessa doença.

2. (Unicamp-SP — mod.) Os lipídios têm papel importante na estocagem de energia, estrutura de membranas celulares, visão, controle hormonal, entre outros. São exemplos de lipídio: fosfolipídios e esteróides.

- a) A quais das funções citadas no texto acima os esteróides estão relacionados? Cite um esteróide importante para uma dessas funções.
b) Cite um local de estocagem de lipídios em animais e um em vegetais.

3. (UFMA) Cite quatro funções dos lipídios.

4. (UFOP-MG) É comum alguém dizer que está com o colesterol alto e que precisa fazer dieta para reduzi-lo no sangue. Pergunta-se:

- a) Como se pode adquirir o colesterol?
b) Por que ele é importante para o organismo?
c) Cite um malefício de seu excesso para o organismo.

5. (UFRJ) Duas substâncias, **A** e **B**, ao reagirem à temperatura de 25 °C, geram um produto **AB**. Essa reação é muito lenta. Quando se acrescenta a substância **X**, que pode ser um catalisador inorgânico ou então uma enzima, a velocidade dessa reação aumenta acentuadamente.

Para se investigar a natureza da substância **X**, realizaram-se vários experimentos para medir a velocidade da reação (concentração do composto **AB** depois de cinco minutos de reação).

Os resultados estão na tabela a seguir:

Experimento número	Temperatura (°C)	Substâncias			Velocidade da reação
		A	B	X	
I	25	(+)	(+)	(-)	0,5
II	25	(+)	(+)	(+)	85,0
III	100	(+)	(+)	(+)	0,6
IV	25*	(+)	(+)	(+)	0,6

* No experimento IV, a substância **X** foi preaquecida a 100 °C, depois resfriada a 25 °C e só então acrescentada ao tubo contendo as substâncias **A** e **B**.

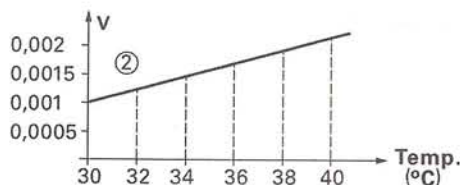
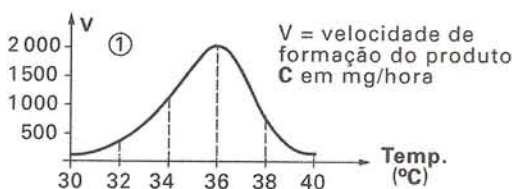
(+) indica presença e (-) indica ausência.

Com base nos resultados da tabela e sabendo-se que as substâncias **A** e **B** não degradam a 100 °C, indique se a substância **X** é um catalisador inorgânico ou uma enzima. Justifique sua resposta.

6. (Unicamp-SP) Os dois gráficos abaixo referem-se à velocidade da reação



que ocorre em animais de uma mesma espécie, quando suas temperaturas variam. O gráfico número 1 representa a reação em um indivíduo que, além dos reagentes **A** e **B**, possui o polipeptídeo **E**, que não ocorre no indivíduo do gráfico número 2.



Baseado nos gráficos, responda:

- a) Em que grupo de substâncias pode ser classificado o polipeptídeo **E**?
b) Dê duas justificativas para a sua classificação.



Introdução à Citologia e superfície das células

1. Citologia: seu surgimento e desenvolvimento

Ao estudarmos a origem e a evolução dos seres vivos, falamos em origem e evolução da célula. Afinal, com exceção dos vírus, os seres vivos são formados por células, e a compreensão de como eles surgiram e evoluíram passa pela compreensão de como a célula surgiu e evoluiu. O primeiro ser vivo que surgiu no planeta Terra era uma célula.

Vamos agora entrar no universo celular e procurar compreender a estrutura e o funcionamento das células, o que é fundamental para que possamos entender a intrincada rede de interações necessárias para a manutenção da vida.

A área da Biologia que estuda a célula é a Citologia (*cito* = célula; *logos* = estudo). Essa área só teve início a partir do momento em que o ser humano começou a construir aparelhos com lentes que propiciam o aumento da imagem de objetos. Esses aparelhos, chamados **microscópios**, possibilitam o conhecimento e o estudo de estruturas invisíveis a olho nu.

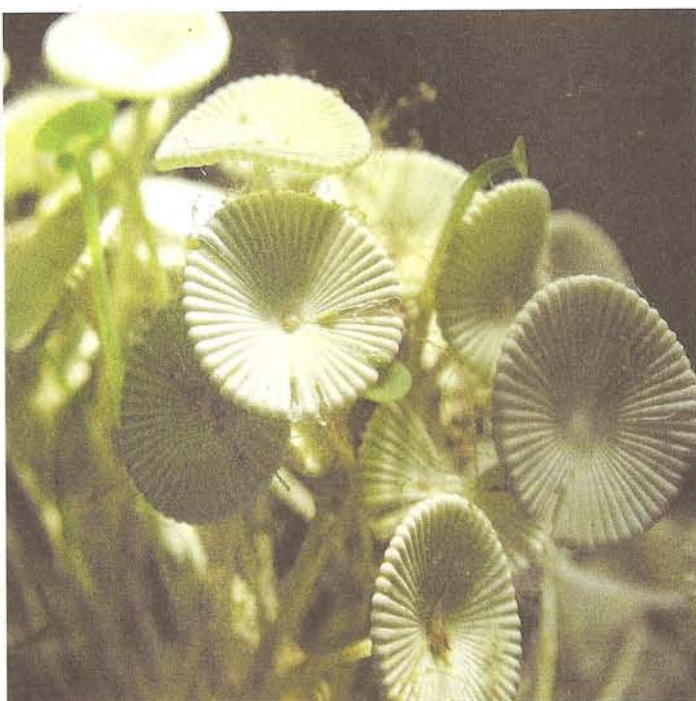
Embora existam células visíveis a olho nu, como a mostrada na foto ao lado, a maioria delas é microscópica.

Os primeiros microscópios foram construídos no século XVI, mas somente no século XVII foram utilizados com finalidades biológicas. Nesse século, o holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) construiu um microscópio formado por uma única lente de aumento e que permitia obter imagens ampliadas em até trezentas vezes. Com ele analisou e descreveu vários microrganismos, como bactérias e protozoários.

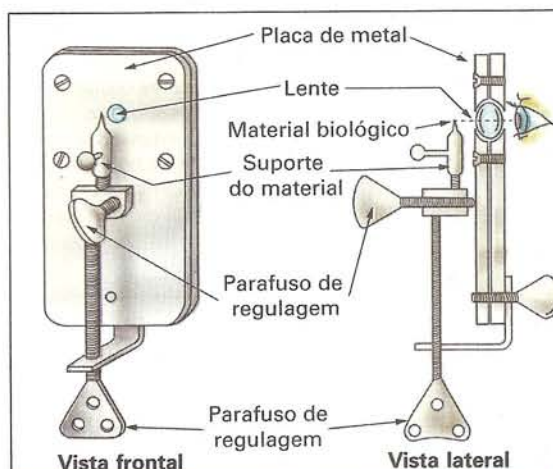
Por ser formado por uma só lente de aumento, esse microscópio é chamado de **microscópio simples**, e por usar a luz para iluminar os objetos observados é também chamado de **microscópio de luz (ML)** ou de **microscópio óptico (MO)**.

Mais tarde, em 1665, o inglês **Robert Hooke** (1635-1703) publicou suas observações de estruturas visíveis ao microscópio de luz, só que esse microscópio era construído com duas lentes de aumento associadas a um tubo. Essas observações lhe valeram o crédito de descobridor das células.

Ávaro E. Migotto



Fotografia de alga marinha unicelular, do gênero *Acetabularia*. Uma única célula forma o pedúnculo e o "chapeu". Tem cerca de 4 cm de altura.

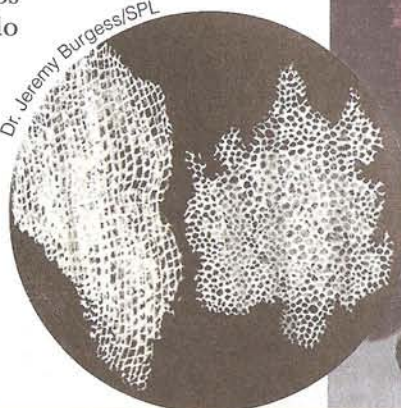


Esquema do microscópio simples, com uma só lente de aumento, usado por Leeuwenhoek. Mede cerca de 15 cm de altura.

O microscópio utilizado por Hooke apresentava uma lente chamada **ocular** (voltada para o olho humano) e outra chamada **objetiva** (voltada para o objeto a ser analisado). Por apresentar duas lentes, ele é chamado de **microscópio composto**.

As imagens obtidas nesses microscópios compostos são mais ampliadas e apresentam mais detalhes do que as obtidas nos microscópios simples. Atualmente, todos os microscópios de luz utilizados em Biologia são compostos e mais sofisticados do que o utilizado por Hooke.

Dr. Jeremy Burgess/SPL



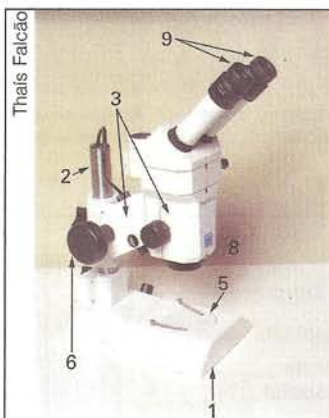
Cedac



Fotografia de microscópio usado por Hooke no século XVII e desenho de delgadas fatias de cortiça que ele analisou, em que se podem notar pequenas cavidades, denominadas **células** (termo derivado do latim, que significa saletas). O que Hooke observou, na realidade, eram as paredes celulares que delimitam as células da cortiça. As paredes celulares são resistentes e persistem mesmo após a morte das células. Cada célula de cortiça mede cerca de 100 µm de comprimento.

2. Microscópios de luz

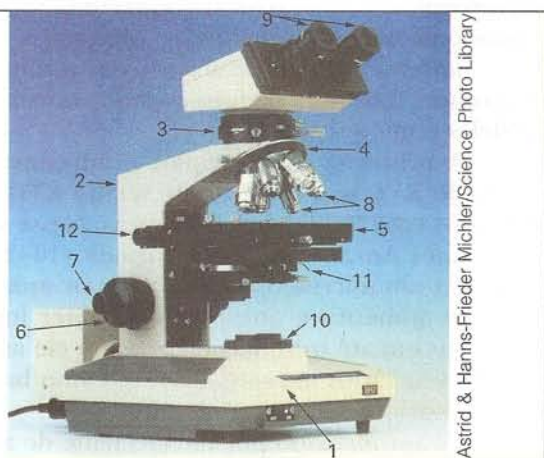
O estudo de estruturas menores é feito com microscópios de luz, que permitem aumentos de até 1500 vezes. Com esses aumentos, entretanto, não é possível observar os detalhes da estrutura celular.



A — Fotografia de microscópio estereoscópico.

Partes dos microscópios de luz

- 1 — Base ou pé
- 2 — Braço de sustentação
- 3 — Canhão
- 4 — Revólver (contém várias objetivas)
- 5 — Platina (onde se apóia a lâmina para ser analisada)
- 6 — Parafuso macrométrico
- 7 — Parafuso micrométrico
- 8 — Lentes objetivas
- 9 — Lentes oculares
- 10 — Fonte de luz
- 11 — Condensador (concentra o raio de luz no objeto a ser analisado)
- 12 — Charriot (permite que a lâmina seja movimentada sob a ocular)



B — Fotografia de microscópio biológico binocular.

O microscópio mostrado em **A** é chamado **estereoscópico** (vulgarmente conhecido por lupa). É indicado para observação de estruturas e organismos maiores do que os normalmente observados em microscópios como o mostrado em **B** e permite também a observação de objetos opacos.

O microscópio mostrado em **B** permite aumentos maiores do que os microscópios este-

reoscópicos, e os objetos a serem analisados devem permitir a passagem de luz.

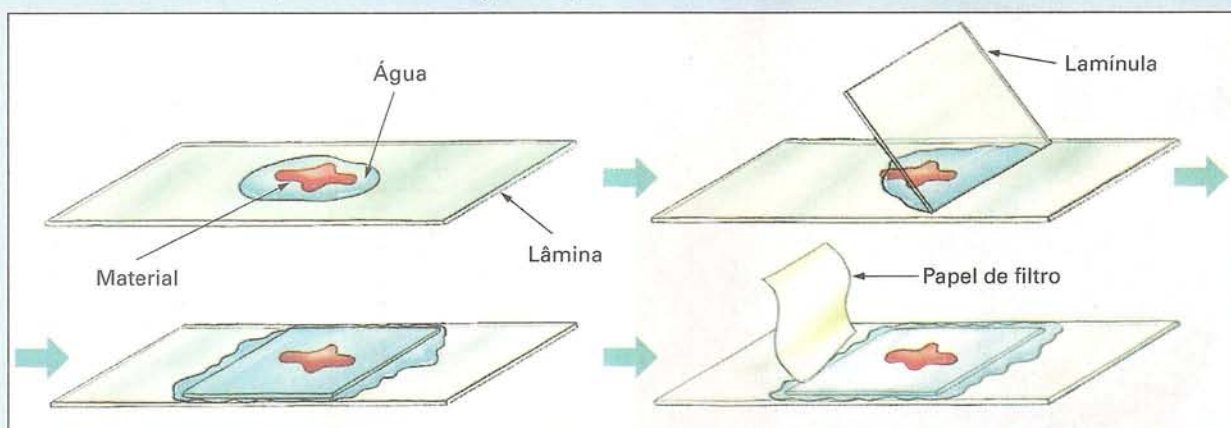
O aumento da imagem que vemos ao microscópio composto é dado pela multiplicação do aumento da ocular pelo aumento da objetiva. Por exemplo, um microscópio composto com ocular 5X e objetiva 40X possibilita ampliação de 200X.

Algumas técnicas que nos permitem preparar as células para observação ao microscópio de luz (ML)

Observando células vivas ao ML

Para a observação de células ao ML, deve-se colocar o material sobre uma lâmina de vidro com uma gota de água ou outro líquido adequado à sua preparação. Em seguida, cobre-se esse material com uma lamínula (lâmina de vidro muito mais fina do que a primeira), procedendo-se assim: coloca-se a lamínula inclinada, para depois deixar que ela se deite cuidadosamente sobre o material. Esse procedimento evita a formação de bolhas de ar, que prejudicam a observação do objeto.

Caso haja excesso de água, ele deve ser removido encostando-se um pedaço de papel de filtro em uma das bordas da lamínula, como mostra a figura seguinte:



Esquema de como se deve proceder para montar um material entre uma lâmina e uma lamínula para ser analisado ao microscópio de luz.

Observando células da epiderme de cebola ao ML

Para observar células do tecido epidérmico da cebola, primeiro retira-se a casca de uma cebola. Depois, separam-se uma ou mais de suas camadas suculentas. Na parte interna dessas camadas pode ser encontrada uma película delicada, que é a epiderme, tecido de revestimento formado por uma camada de células. Retira-se essa película e coloca-se um pequeno pedaço dela sobre uma lâmina de vidro em que se tenha depositado um pouco de água. Finalmente, cobre-se essa preparação com uma lamínula e o material está pronto para ser observado ao microscópio de luz.



Esquema de como se pode proceder para fazer uma preparação de epiderme de cebola para ser analisada ao microscópio de luz.

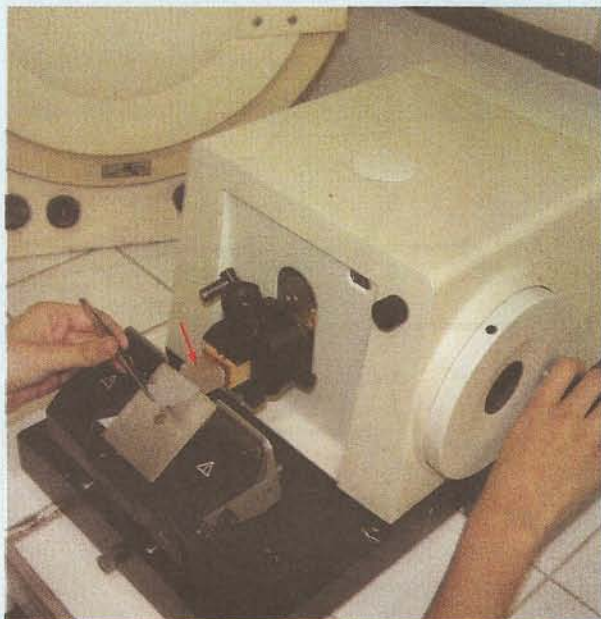
Células vivas podem ser analisadas utilizando-se corantes vitais, como o vermelho neutro, que tinge de vermelho vacúolos digestivos, e o verde janus, que tinge de verde as mitocôndrias.

Observando células fixadas e coradas ao ML

O estudo mais detalhado da célula ao ML é feito por meio de células fixadas e coradas. A fixação pode ser feita mergulhando-se o material a ser observado em uma solução como formol e álcool, que mata imedia-

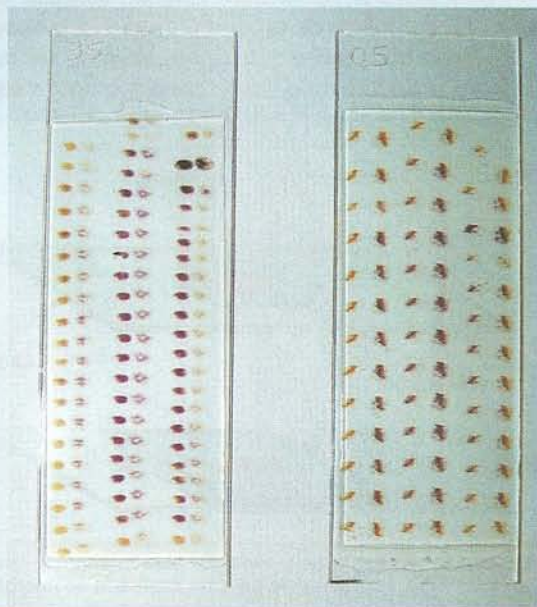
tamente as células e preserva sua estrutura. Depois de as células terem sido fixadas, acrescentam-se corantes à preparação para evidenciar determinadas estruturas. Os diferentes tipos de corantes têm afinidades com regiões específicas das células, o que torna mais fácil sua visualização.

A observação de células dos tecidos pode ser feita por meio de **cortes histológicos**. Nesse caso, coloca-se o material a ser analisado mergulhado em parafina líquida ou em outra substância líquida que depois endureça, o que facilita os cortes. O material assim preparado é cortado em fatias delgadas com o auxílio de um aparelho chamado **micrótomo**. Os cortes são então colocados em lâmina de vidro, a parafina é dissolvida e as células são coradas com corantes especiais. Depois, são feitas as lâminas permanentes adicionando-se bálsamo-do-canadá e cobrindo-se a preparação com lamínula para observação ao ML.



Felipe F. Curcio

Fotografia mostrando um bloco de parafina (seta), com material biológico devidamente preparado em seu interior, sendo cortado com o uso de micrótomo.



Felipe F. Curcio

Fotografia de duas lâminas permanentes, cada uma delas com vários cortes histológicos seriados e corados, prontos para a observação ao microscópio de luz.

Células de certos tecidos podem ser observadas sem a realização de cortes histológicos, como é o caso de células do sangue, que podem ser observadas por meio da técnica do **esfregaço**: o sangue coletado é depositado sobre a lâmina e espalhado, formando uma delgada camada. Depois esse material é fixado e corado.

Atenção: A análise de células do sangue só deve ser feita por profissionais devidamente qualificados e em laboratórios especializados, em função do **risco de transmissão de certas doenças, como a AIDS**.

3. Microscópios eletrônicos

O estudo detalhado das estruturas celulares só foi possível com o advento dos microscópios eletrônicos (**ME**), que permitem observar as células com aumentos muito maiores. Isso é possível porque os microscópios eletrônicos utilizam feixes de elétrons para analisar o objeto a ser estudado, em substituição aos feixes de luz.

Os microscópios eletrônicos podem ser de **transmissão** ou de **varredura**. Os de transmissão são empregados para analisar estruturas cortadas em fatias muito finas. Já os de varredura são empregados para analisar a superfície do corpo dos seres vivos, das células e mesmo das moléculas.



Juarez Silva

Fotografia de microscópio eletrônico de varredura.

O material a ser analisado ao ME deve ser devidamente fixado e corado com sais de metais pesados que propiciam contrastes nas estruturas das células. Esses corantes tornam as estruturas das células menos permeáveis aos feixes de elétrons, sendo que as estruturas mais coradas são vistas em preto ou cinza-escuro e as menos coradas são vistas em tons de cinza-claro.

A imagem é vista em uma tela e pode ser impressa como fotografia. Como são sempre em bran-

co e preto, essas fotos podem ser posteriormente coloridas artificialmente, buscando-se evidenciar ainda mais as estruturas celulares.

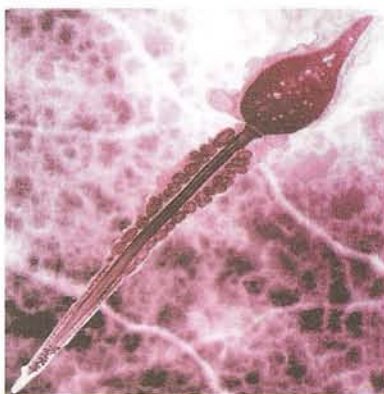
As fotos tiradas com o uso dos diferentes tipos de microscópios são chamadas **fotomicrografias** ou simplesmente **micrografias**.

Observe a seguir micrografias de células ao microscópio de luz, ao microscópio eletrônico de transmissão e ao de varredura:



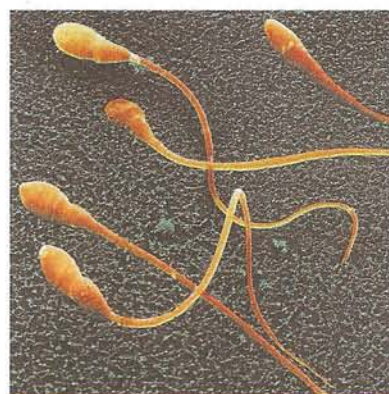
Mehau Kulyk/Science Photo Library

Espermatozoides observados ao microscópio de luz. Cada espermatozoide mede cerca de 0,065 mm de comprimento.



Keystock Medical

Espermatozoide observado ao microscópio eletrônico de transmissão. Colorido artificialmente.



Juergen Berger, Max-Planck Institute/SPL

Espermatozoides observados ao microscópio eletrônico de varredura. Colorido artificialmente.

Poder de aumento e de resolução

É importante salientar a diferença entre poder de resolução e poder de aumento. Se uma fotografia for ampliada e analisada a olho nu, a imagem terá aumentado, mas os pontos da imagem da foto separados por menos de 100 μm continuarão aparecendo como um ponto só, borrado. Isso significa que ampliamos a imagem, mas não melhoramos sua definição. A imagem ficou ampliada, mas borrada.

Esse fato ocorre porque nosso olho tem o limite de resolução da ordem de 0,1 mm. Isso significa que, se olharmos dois pontos de uma imagem que estejam separados um do outro por uma distância menor que 0,1 mm, eles aparecerão como um ponto único. Para distinguir estruturas que se apresentam separadas umas das outras por menos de 0,1 mm há necessidade de instrumentos que tenham maior poder de aumento e também de resolução.

Assim, além de produzir imagens ampliadas, os microscópios precisam ter boa resolução.

•
Ponto observado
a olho nu.

⋄
O mesmo ponto observado
ao microscópio de luz.
Maior aumento e maior resolução.

⋄
O mesmo ponto observado
com um aumento maior
do microscópio de luz. Maior
aumento sem melhorar a resolução.

Esquema exemplificando a diferença entre poder de aumento e poder de resolução.

O limite de resolução dos microscópios de luz é de cerca de 0,0002 mm. Não é possível construir microscópios de luz com desempenho melhor do que esse, pois o fator limitante é o comprimento de onda da luz.

Com o advento do microscópio eletrônico, o poder de resolução foi aumentado para cerca de 100 mil vezes em relação ao olho humano.

4. A teoria celular

Após os trabalhos de Hooke, outros cientistas interessaram-se pelo estudo microscópico dos seres vivos, desenvolvendo, assim, essa importante área da Biologia que é a Citologia.

Em 1838, dois pesquisadores alemães, **Matthias Schleiden** (1804-1881) e **Theodor Schwann** (1810-1882), formularam a teoria celular segundo a qual “todos os seres vivos são formados por células”. As células são, portanto, as unidades morfológicas e funcionais dos seres vivos. Schleiden

concentrou suas observações nas plantas, e Schwann, nos animais.

TEORIA CELULAR

Todos os seres vivos são formados por células.

Atualmente sabe-se que os vírus são as únicas exceções a essa teoria, pois não são formados por células, porém dependem delas para sua reprodução.

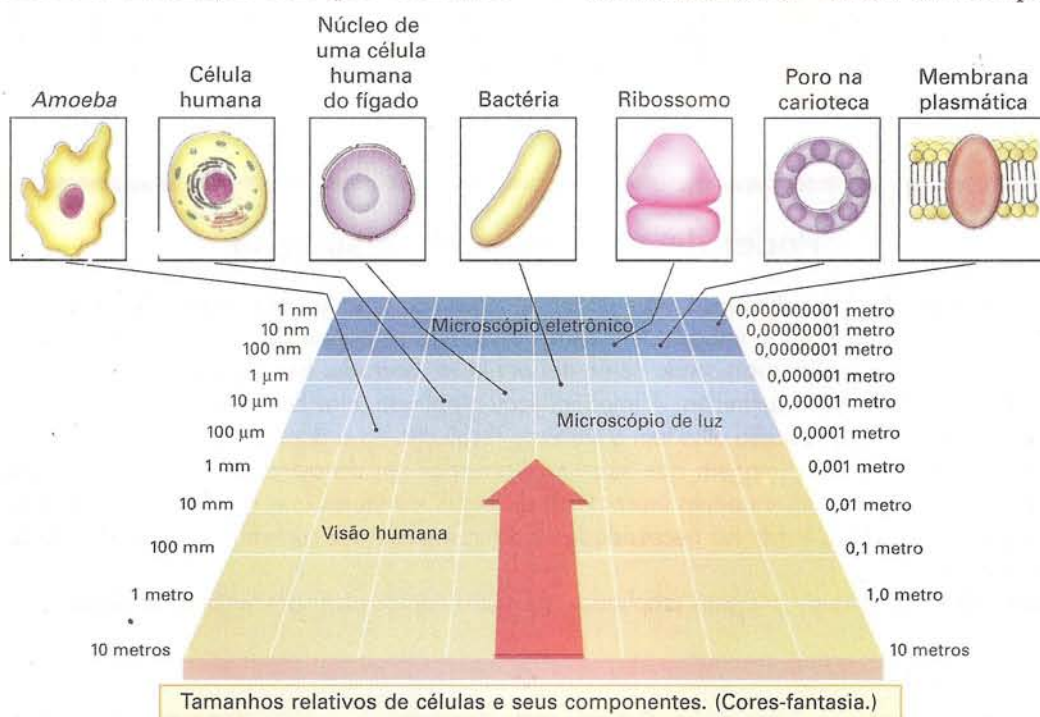
5. Medidas usadas no estudo das células

Sendo a célula pequena e as estruturas que ela contém menores ainda, há necessidade de se estabelecerem unidades de medida apropriadas.

O sistema mais utilizado para medidas é o métrico de acordo com o **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. O metro é a unidade básica de comprimento e é em função dele que derivamos

as demais unidades de comprimento. As principais subdivisões do metro empregadas em Citologia são:

- milímetro (mm) = metro dividido por mil;
- micrômetro (μm) = metro dividido por milhão;
- nanômetro (nm) = metro dividido por bilhão.



6. Como vamos estudar as células

Estudaremos as células da superfície para o interior delas, procurando, primeiramente, entender as estruturas que as delimitam, protegem e permitem trocas entre o meio intracelular (*intra* = dentro) e o extracelular (*extra* = fora), ou seja, vamos estudar as membranas e outros envoltórios celulares e os processos de troca entre as células e o meio.

Passaremos, depois, para o estudo do citoplasma, onde ocorrem outros importantes processos fisiológicos. Finalmente, estudaremos o núcleo, responsável pela coordenação da fisiologia celular e pelas divisões celulares.

Neste capítulo, iniciaremos o estudo dos envoltórios celulares.

7. Os envoltórios celulares

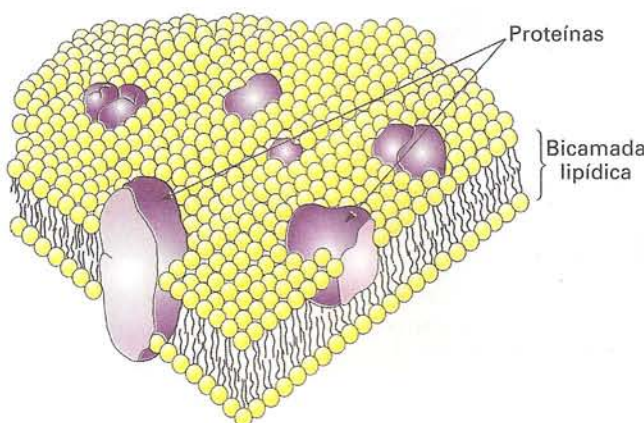
As células encontram-se individualizadas, separadas do meio pelos envoltórios. Estes devem ter características tais que, se por um lado isolam do meio externo o interior da célula, por outro propiciam trocas de substâncias com o meio. Sem trocar substâncias com o meio, a célula não pode se manter viva, pois precisa receber nutrientes e oxigênio e eliminar resíduos de seu metabolismo.

Vamos ver, então, quais são esses envoltórios.

7.1. Membrana plasmática

O envoltório celular presente em todos os tipos de células é a **membrana plasmática** (ou **plasmalema**, ou **membrana celular**, ou **membrana citoplasmática**). Essa membrana é lipoprotéica, constituída principalmente de fosfolipídios e proteínas.

O modelo de estrutura da membrana plasmática aceito atualmente foi proposto em 1972 pelos cientistas **S. J. Singer** e **G. Nicolson**, e denomina-se **modelo do mosaico fluido**.



Modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática, conforme proposto inicialmente por Singer e Nicolson em 1972. (Cores-fantasia.)

Segundo esse modelo, existem duas camadas de fosfolipídios que formam um revestimento fluido, delimitando a célula. Por ter afinidade diferencial com a água, como discutimos no capítulo anterior, essas camadas formam uma película que isola a célula, impedindo a passagem de moléculas grandes ou de moléculas solúveis em água.

Isso significa que, se a célula fosse revestida somente por lipídios, seria completamente impermeável a moléculas importantes para sua sobrevivência, como açúcares, aminoácidos e proteínas, que são solúveis em água. Esse fato não acontece porque as moléculas de proteínas que ficam imersas na camada fluida de lipídios formam verdadeiras “portas” de passagem para essas substâncias. Através des-

sas “portas”, entretanto, não passa tudo; há uma seleção do que pode ou não passar.

Esse conjunto de características estruturais e funcionais das camadas de lipídios e das proteínas imersas nelas confere à membrana plasmática o que se chama **permeabilidade seletiva**: a membrana é permeável, mas não a tudo.

Os tipos de proteínas das membranas celulares variam de célula para célula e determinam as funções específicas das membranas.

Na membrana plasmática das células animais, além dos fosfolipídios existe também o colesterol.

7.2. Envoltórios externos à membrana plasmática

A membrana plasmática é fluida e, como tal, trata-se de uma estrutura delicada. Ao longo da evolução dos seres vivos, surgiram na superfície das células modificações que trouxeram como vantagem maior resistência à membrana, sem interferir na sua permeabilidade. Esses envoltórios são, em geral, resistentes e permeáveis. Por serem vantajosas, essas modificações persistiram ao longo do tempo e estão presentes nas células de muitos organismos que vivem hoje em nosso planeta.

Esses envoltórios são:

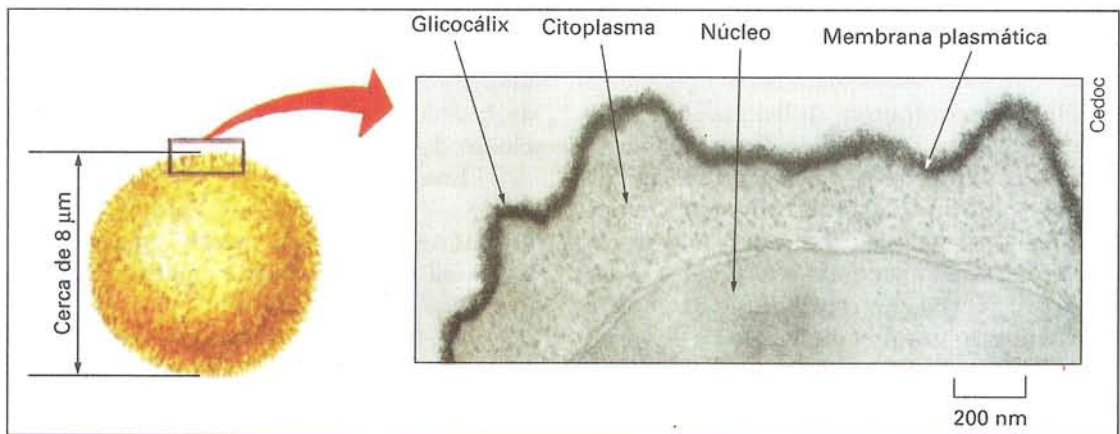
- **glicocálix**, presente nas células animais e de muitos protistas;
- **parede celular**, presente na maioria das bactérias, nas cianobactérias, em alguns protistas, nos fungos e nas plantas.

Glicocálix

O glicocálix (*glico*, do grego *glykys* = glicídio; *calix*, do latim *calyx* = envoltório) ocorre externamente à membrana plasmática da maioria das células animais e de muitos protistas. Ele é formado por uma camada frouxa de glicídios, associados aos lipídios e às proteínas da membrana.

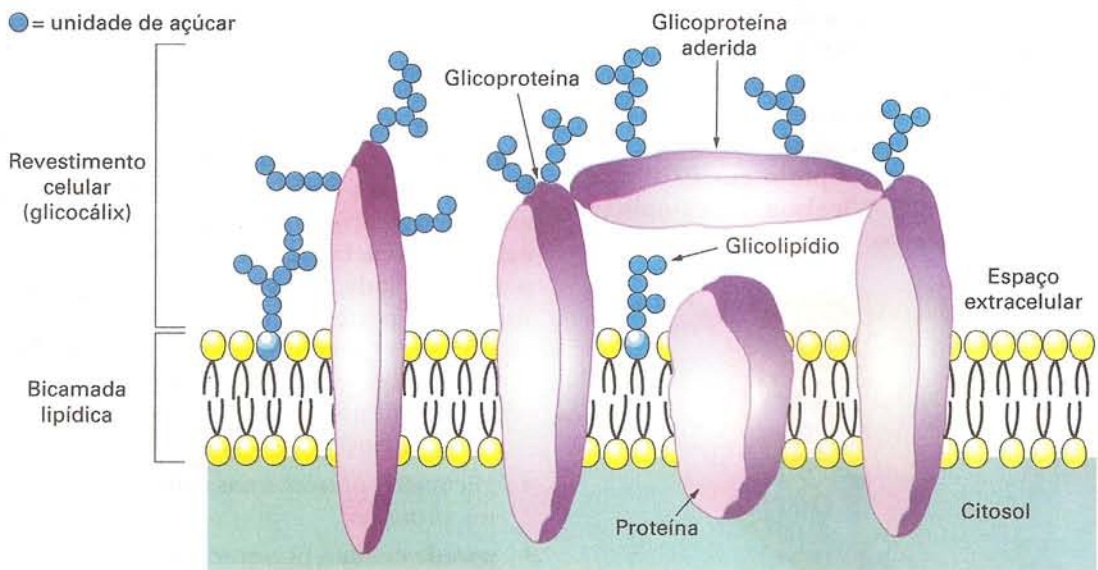
Além de proporcionar resistência à membrana plasmática, o glicocálix possui outras funções:

- constitui uma barreira contra agentes físicos e químicos do meio externo;
- confere às células a capacidade de se reconhecerem, uma vez que células diferentes têm glicocálix formado por glicídios diferentes e células iguais têm glicocálix formado por glicídios iguais;
- forma uma malha que retém nutrientes e enzimas ao redor das células, de modo a manter um meio externo adequado.



Esquema da superfície externa de um linfócito. (Cores-fantasia.)

Micrografia eletrônica de transmissão de um linfócito, mostrando parte do glicocálix, da membrana plasmática, do citoplasma e do núcleo.



Esquema simplificado de um setor da membrana plasmática de uma célula animal, mostrando o glicocálix. (Cores-fantasia.)

Parede celular

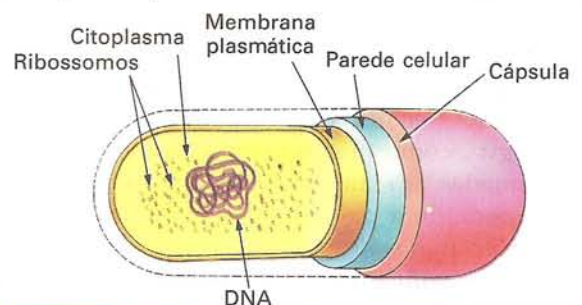
A parede celular é uma estrutura semi-rígida, o que não acontece com o glicocálix. Assim, as células que a possuem têm menor possibilidade de modificar sua forma.

A parede celular é, dentro de certos limites, uma estrutura permeável, não exercendo controle sobre as substâncias que penetram na célula ou que dela saem.

Nas bactérias e nas cianobactérias, a parede celular é formada basicamente por uma substância típica dos procariontes: o **peptidoglicano** (ou **peptoglicano**, ou **peptideoglicano**).

Em algumas bactérias existe, além da parede celular, outro envoltório externo: a **cápsula**. Essas bactérias são chamadas **capsuladas**. A espessura e a

composição química dessas cápsulas variam de espécie para espécie.



Esquema de bactéria, com parte da célula removida. Mede cerca de 2 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

Entre os protistas, muitos possuem parede celular, sendo que a composição química varia nos diferentes grupos. Em geral a parede celular pode ser basicamente de **sílica** ou de **celulose**.

A maioria dos fungos apresenta parede celular constituída basicamente por **quitina**, encontrando-se também celulose em alguns grupos.

Nas plantas, a parede celular é formada principalmente por celulose e, por isso, é também conhecida como membrana celulósica.

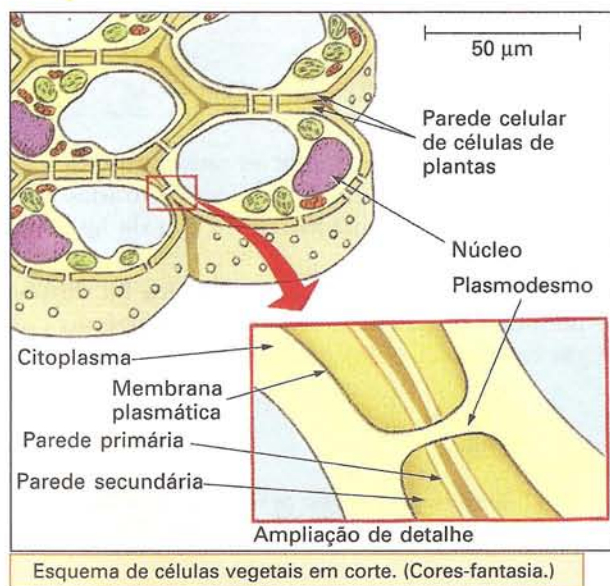
Em uma célula vegetal jovem, a parede celular é muito fina e chama-se **parede celular primária**. Todo o espaço delimitado por essa parede primária denomina-se **lúmen celular** e é ocupado pelo **protoplasma**, a parte viva da célula, que compreende a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo.

Na célula adulta, a parede celular pode apresentar espessamentos, devido a novos depósitos de materiais, e recebe o nome de **parede celular secundária**. Como essa parede é formada pela deposição de material por dentro, o lúmen celular fica reduzido.

Compostos como a lignina e a suberina também ocorrem na parede celular, dando-lhe maior resistência ainda.

É característico das células vegetais a presença de pontos de contato entre células vizinhas, onde

não há deposição de celulose. Através dessas pontes citoplasmáticas, denominadas **plasmodesmos**, há intercâmbio de material entre as células.



8. Processos de troca entre a célula e o meio externo

Os processos de troca entre a célula e o meio externo podem ser agrupados em três categorias:

- **Processos passivos** — ocorrem sem gasto de energia: difusão, difusão facilitada e osmose.
- **Processos ativos** — ocorrem com gasto de energia: bomba de sódio e potássio.
- **Processos mediados por vesículas** — ocorrem quando vesículas são utilizadas para a entrada de

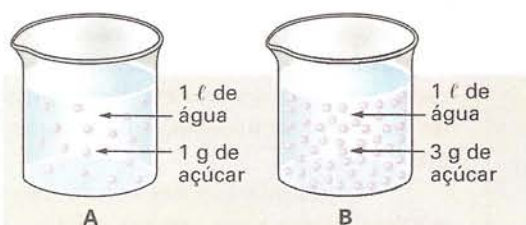
partículas ou microrganismos na célula, ou para a eliminação de substâncias da célula. O processo de entrada chama-se **endocitose** e o de saída, **exocitose**.

Para podermos entender esses mecanismos de troca, precisamos ter um pouco de noção a respeito de **concentração** de uma solução. Vamos, então, falar brevemente sobre isso.

9. Concentração de uma solução

Moléculas dissolvidas em água ou em qualquer outro líquido formam uma solução. As moléculas dissolvidas recebem o nome de **soluto** (por exemplo: açúcares, íons, aminoácidos) e o líquido recebe o nome de **solvente** (por exemplo: água).

A quantidade de soluto dissolvida em uma quantidade de solvente nos dá um valor que chamamos de **concentração** da solução. A concentração de uma solução é tanto maior quanto mais soluto estiver dissolvido em uma mesma quantidade de solvente. Observe o esquema a seguir.



Esquema de recipientes com soluções de açúcar em água em diferentes concentrações.

Nesse exemplo, a quantidade de açúcar (soluto) dissolvida em 1 litro de água (solvente) é menor no frasco A. Assim, a concentração da solução A é menor que a concentração da solução B.

CONCENTRAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

Quantidade de soluto dissolvida por unidade do solvente.

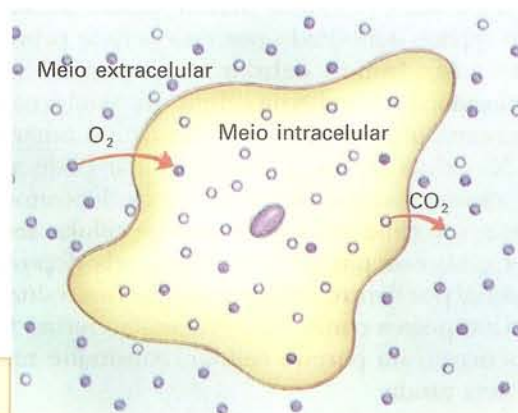
Quando duas soluções têm a mesma concentração, elas são chamadas **isotônicas** ou **isomóticas** (*iso* = igual).

Quando a concentração é diferente, a mais concentrada é chamada **hipertônica** ou **hiperosmótica** (*hyper* = superior) e a menos concentrada é chamada **hipotônica** ou **hiposmótica** (*hipo* = inferior).

10. Difusão

A **difusão** corresponde ao movimento de partículas de onde elas estão mais concentradas para onde estão menos concentradas, a fim de igualar a concentração.

Através da membrana plasmática há difusão de pequenas moléculas, como as de oxigênio e as de gás carbônico, e de certos íons.



Esquema do processo de difusão de O_2 e CO_2 na célula. A célula mede cerca de 500 μm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

11. Osmose

A osmose é um processo de difusão de moléculas de água através de membrana semipermeável. A água difunde-se em maior quantidade da solução hipotônica para a hipertônica.

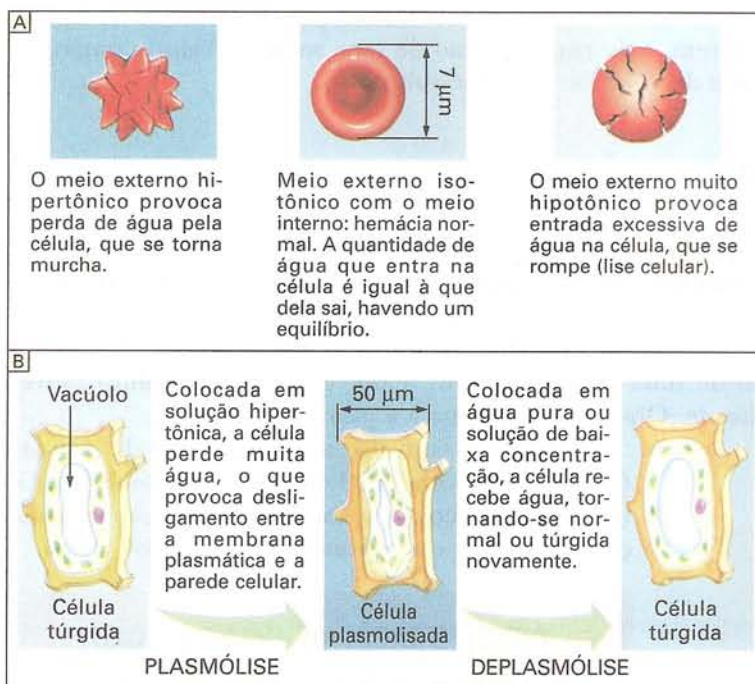
Análise a figura a seguir, que compara o processo de osmose em células animais (hemácias) com o que ocorre em células vegetais.

Quando uma célula se encontra em meio de concentração igual à concentração de seu interior (isto é, em meio isotônico), ela se apresenta com aparência normal. Em meio hipertônico a célula perde água; e em meio hipotônico há entrada de água na célula, provocando aumento do seu volume.

No caso da célula animal, a entrada excessiva de água pode levar à ruptura da membrana (ou ruptura da célula). Já no caso das células das plantas isso não ocorre, devido à presença da parede celular, que é muito resistente.

Colocando-se uma célula vegetal túrgida, ou seja, completamente cheia de água, em uma solução hipertônica, ela perde água para o meio. Se a concentração do meio for muito maior do que a da célula, ela perderá muita água, o que pode fazer com que a membrana plasmática se separe da parede celular. Esse processo denomina-se **plasmólise** e é característico das células vegetais. O processo inverso ao da plasmólise é a **deplasmólise**, em que a célula plasmolisada, ao ser colocada em água pura ou de baixa concentração, volta a ficar túrgida.

No citoplasma das células vegetais adultas existe uma região central relativamente grande, que é preenchida por uma organela denominada **vacúolo**.



Representação de osmose em célula animal (A) e em célula vegetal (B). (Tamanhos aproximados e cores-fantasia.)

O vacúolo possui membrana lipoprotéica, denominada **tonoplasto**, que abriga o **suco vacuolar**, formado por uma solução aquosa de várias substâncias. Como o tonoplasto é uma membrana lipoprotéica, assim como todas as membranas internas existentes nas células, ele possui as mesmas características da membrana plasmática. Desse modo, a água que sai da célula vegetal provém principalmente do vacúolo. O citoplasma e a membrana plasmática acompanham a contração do vacúolo e, na plasmólise, desligam-se da membrana celulósica.

Temperando saladas

Você já deve ter temperado saladas para sua alimentação usando basicamente vinagre ou limão, sal e azeite.

Por experiência própria, você já deve ter observado que, algum tempo depois de terem sido temperadas, as verduras murcham.

Isso acontece porque, ao temperarmos a salada, estamos submetendo as células das verduras a um meio hipertônico, o que faz com que as células dos componentes da salada percam, por osmose, água para o meio e murchem.



Eugenius Pacelli

Fotografia de salada sem tempero ou recém-temperada.

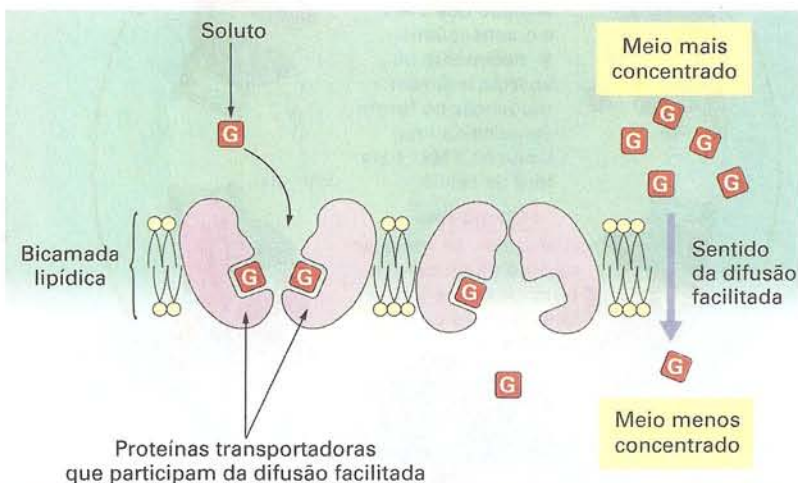


Eugenius Pacelli

Fotografia de salada temperada após algum tempo.

12. Difusão facilitada

A difusão facilitada também é um processo passivo, que ocorre através das membranas lipoprotéicas. Nesse tipo de difusão, algumas proteínas da membrana, chamadas **permeases**, atuam facilitando a passagem de certas substâncias que, por difusão simples, demorariam muito tempo para atravessar a membrana de modo a igualarem suas concentrações. Esse processo é particularmente comum no movimento da glicose, de alguns aminoácidos, de vitaminas e de alguns íons, como o cálcio, o cloro, o sódio e o potássio.



Esquema da difusão facilitada da glicose (G): as proteínas transportadoras alteram suas conformações movendo o soluto (glicose) através da membrana a favor de um gradiente de concentração — do meio mais concentrado para o menos concentrado. (Cores-fantasia.)

A fibrose cística

A fibrose cística é uma doença hereditária caracterizada por abundante secreção de muco nas vias aéreas bloqueando a passagem do ar para os pulmões.

Essa doença genética está relacionada com a ausência de uma proteína normal nas membranas celulares, responsável pelo transporte do íon cloro (Cl^-). Com isso, ocorrem alterações na concentração desse íon fora e dentro da célula, determinando modificações no metabolismo celular. Essas modificações causam a fibrose cística.

13. Transporte ativo: bomba de sódio e potássio

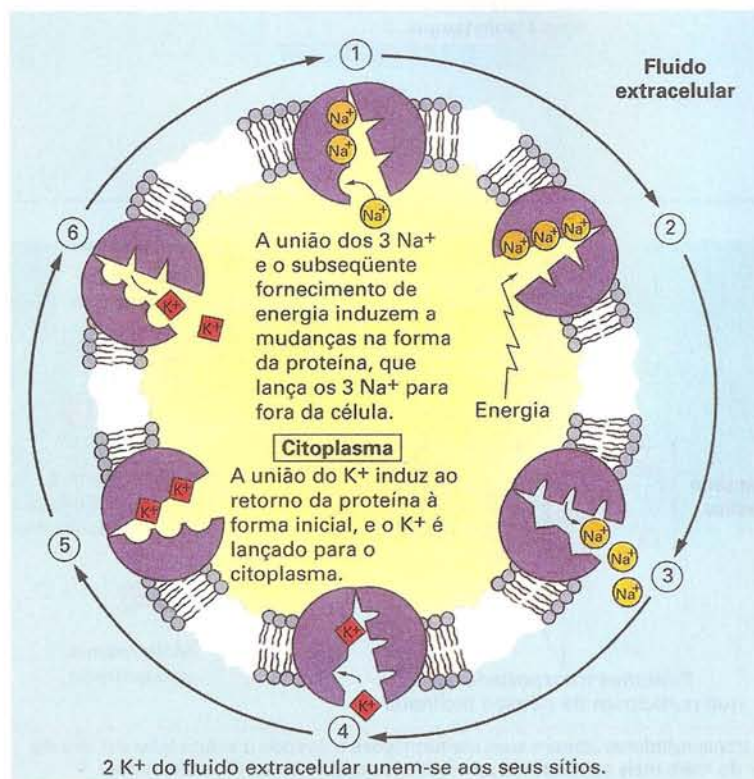
Os processos ativos são aqueles que ocorrem através da membrana plasmática ou de qualquer outra membrana lipoprotéica da célula, graças ao fornecimento de energia do metabolismo celular. Nesses processos, observa-se movimento de solutos contra o gradiente de concentração, ou seja, da solução menos concentrada para a mais concentrada.

Medindo-se a concentração de dois importantes íons para a célula, o sódio (Na^+) e o potássio (K^+), verifica-se maior concentração de íons Na^+ no líquido extracelular, quando comparado com o meio intracelular, acontecendo o contrário com os íons K^+ .

Esses íons atravessam normalmente a membrana celular pelo processo de difusão facilitada. Assim, se não houvesse um processo ativo capaz de manter essa diferença, os íons Na^+ e K^+ tenderiam a igualar suas concentrações.

O processo ativo que permite a manutenção da concentração diferencial desses íons é chamado **bomba de sódio e potássio**. Utilizando energia, os íons sódio, que penetram na célula por difusão facilitada, são levados para o meio extracelular, e os íons potássio, que saem da célula por difusão facilitada, são levados para o meio intracelular.

O bombeamento de sódio para fora e o de potássio para dentro da célula são realizados por uma proteína de transporte, com gasto de energia.



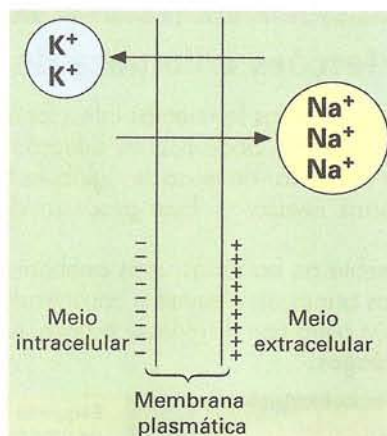
A manutenção de maior concentração de K^+ no interior da célula e de Na^+ fora da célula é fundamental para o metabolismo celular.

É importante a existência de alta concentração de íons K^+ na célula, pois esses íons são necessários na síntese de proteínas e em algumas etapas da respiração. A alta concentração de íons K^+ dentro da célula, entretanto, pode trazer problemas osmóticos, pois a célula torna-se hipertônica. O bombeamento de Na^+ para fora da célula compensa a necessidade de alta concentração de K^+ dentro da célula e resolve um problema osmótico.

Além disso, a bomba de sódio e potássio é importante na produção de diferença de cargas elétricas nas membranas, especialmente nas membranas de células

Esquema simplificado da bomba de sódio e potássio. (Cores-fantasia.)

nervosas e nas de células musculares, propiciando a transmissão de impulsos elétricos através dessas células.



Representação da disposição de cargas positiva e negativa na membrana plasmática. Para cada três íons sódio que saem da célula, apenas dois íons potássio entram nela. Assim, as membranas ficam com carga elétrica negativa na face interna e com carga positiva na externa.

14. Endocitose e exocitose

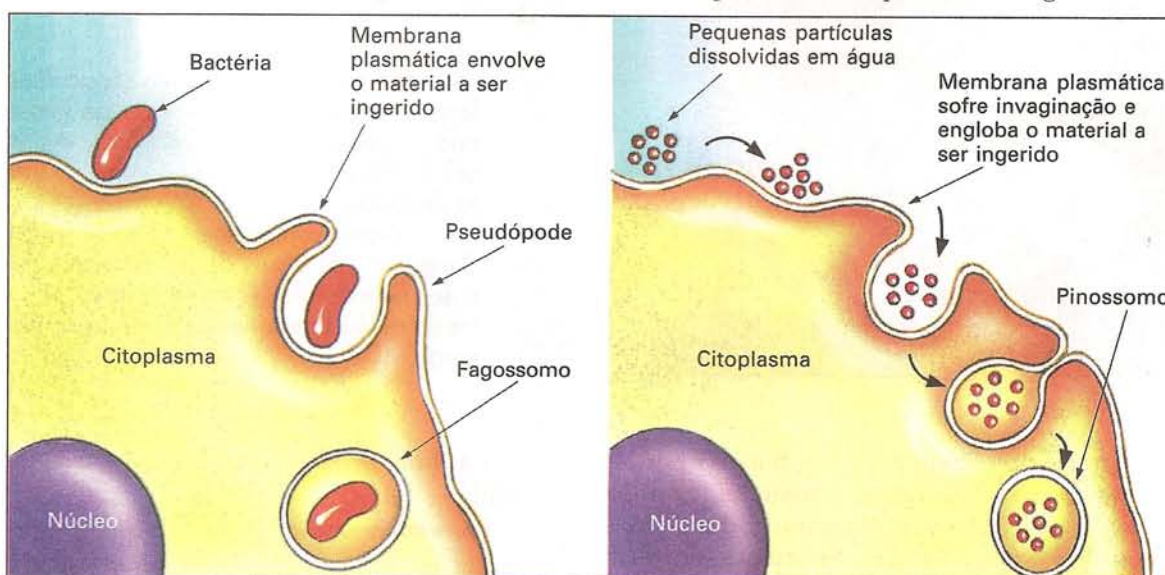
Nos itens anteriores, foram discutidos os mecanismos pelos quais pequenas moléculas e íons atravessam a membrana plasmática. Partículas maiores não conseguem atravessar a membrana, mas podem ser incorporadas à célula por endocitose, ou ser eliminadas da célula por exocitose.

A **endocitose** pode ocorrer por dois processos básicos: a fagocitose e a pinocitose.

A **fagocitose** (*fagos* = comer; *citos* = célula; ato de a célula comer) é um processo de ingestão de partículas grandes, tais como microrganismos e restos de outras células.

A **pinocitose** (*pinos* = beber; ato de a célula beber) está relacionada à ingestão de moléculas dissolvidas em água, tais como polissacarídeos e proteínas.

Esses dois processos estão esquematizados de modo comparativo e simplificado a seguir:



Esquema de fagocitose: ingestão de partículas grandes, como microrganismos e pedaços de célula, via vesículas grandes, os **fagossomos**, geralmente maiores que 250 nm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

Esquema de pinocitose: ingestão de pequenas partículas dissolvidas em água via vesículas pequenas, os **pinossomos**, geralmente medindo cerca de 150 nm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

A fagocitose é um mecanismo empregado por muitos protistas, em especial as amebas, para a obtenção de alimento, englobando outros microrganismos.

Nos multicelulares, a fagocitose é exercida apenas por certas células especializadas, como é o caso dos **macrófagos** (um tipo de célula encontrada no sangue e também em outros tecidos do corpo humano) e dos **neutrófilos** (um tipo de glóbulo branco do sangue). Essas células atuam no mecanismo de defesa do corpo humano contra infecções, fagocitando microrganismos patogênicos. Além disso, fagocitam células debilitadas e restos celulares, realizando um importante serviço de “limpeza” de nosso corpo.

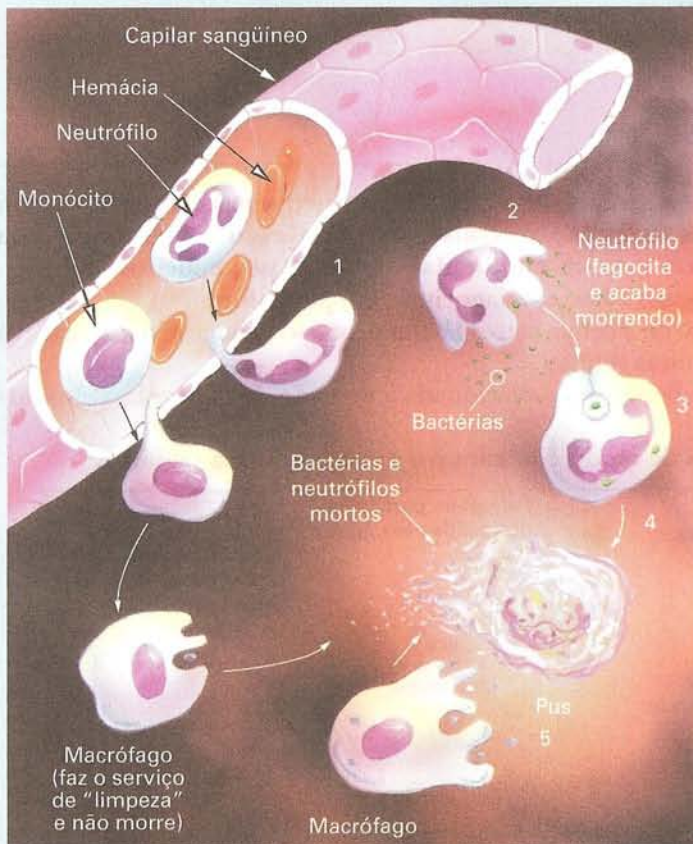
Combate a infecções e limpeza de nosso corpo

Você sabe o que é o **pus** que se forma nos ferimentos infeccionados?

Quando a pele humana sofre uma lesão, pode ocorrer infecção por bactérias. Nesse caso, verdadeiros exércitos de **neutrófilos** — um tipo particular de leucócito (glóbulo branco do sangue) — saem dos vasos sanguíneos e vão combater as bactérias invasoras. Esse processo de atravessar a parede dos capilares sanguíneos é denominado **diapedese**.

Os neutrófilos fagocitam ativamente as bactérias, mas acabam morrendo. Juntamente com as várias bactérias que ingeriram, eles formam os principais elementos encontrados no pus de ferimentos infeccionados.

Nessa fase, os **monócitos**, que são outro tipo de glóbulo branco, saem dos vasos sanguíneos também por diapedese e transformam-se em **macrófagos**.



Esquema simplificado de uma resposta inflamatória. Leucócitos e macrófagos medem cerca de 15 μm de diâmetro; hemácias medem cerca de 7 μm de diâmetro. O capilar sanguíneo foi representado com uma parte de sua parede removida para visualizar as células sanguíneas. (Cores-fantasia.)

Os macrófagos têm alta capacidade de fagocitose e dirigem-se ao local da infecção, onde ingerem bactérias invasoras, restos de células mortas e mesmo os próprios neutrófilos já destruídos.

Além de participar desse processo de “limpeza” nos locais de infecção, em outros casos os macrófagos também fagocitam restos de células mortas que encontram em nosso corpo.

Tanto nas amebas quanto nos demais tipos celulares que realizam fagocitose, o material ingerido fica no interior de uma vesícula grande, denominada **fagossomo**, e é degradado por ação de enzimas específicas.

Ao contrário da fagocitose, que é realizada apenas por algumas células especializadas, a pinocitose ocorre praticamente em todos os tipos celulares.

As partículas ingeridas por pinocitose ficam no interior de pequenas vesículas denominadas **pinossomos** e podem servir como alimento para as células.

Os mecanismos de digestão intracelular serão discutidos no próximo capítulo.

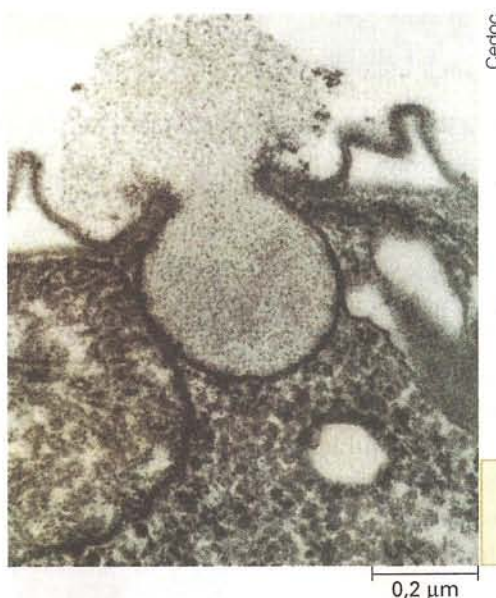
Enquanto os mecanismos de endocitose descritos envolvem a ingestão de materiais, a exocitose

envolve a eliminação de material de dentro para fora da célula.

Por **exocitose** são lançadas para fora das células secreções importantes que atuam em diversas etapas do metabolismo de nosso corpo.

A exocitose é, portanto, um processo frequente nas células com função secretora, como as do pâncreas, que secretam insulina e glucagon (hormônios lançados na corrente sanguínea que atuam no metabolismo de açúcares). Essas substâncias são produzidas no interior das células e ficam armazenadas em vesículas intracelulares. Por exocitose, essas vesículas lançam o seu conteúdo para fora da célula.

Também por exocitose são eliminados resíduos do material digerido dentro da célula. Esse tipo de exocitose é denominado **clasmocitose** ou defecação celular.



Cedoc

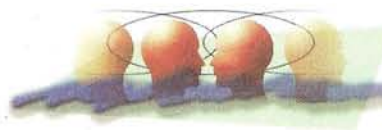
Micrografia eletrônica de transmissão de trecho de uma célula mostrando uma vesícula secretora eliminando seu conteúdo para fora da célula.

0,2 μm



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Comente a teoria celular.
2. Se você estiver observando uma estrutura ao microscópio de luz em que a ocular fornece aumento de 10 vezes e a objetiva, de 25 vezes, em quanto estará sendo aumentado o seu objeto de estudo?
3. Diferencie poder de aumento e poder de resolução dos microscópios.
4. Explique, de forma simplificada, o que se consegue analisar utilizando um microscópio eletrônico de transmissão e utilizando um de varredura.
5. Faça um esquema representando a estrutura da membrana plasmática de acordo com o modelo proposto por Singer e Nicolson em 1972 e que é aceito até hoje.
6. Explique as funções da membrana plasmática e o que significa dizer que ela tem permeabilidade seletiva.
7. Explique o que é glicocálix e qual sua função.
8. Relacione os grupos (reinos) de seres vivos que apresentam parede celular e diga se a composição química é sempre a mesma nos diferentes grupos.
9. Compare a parede celular e a membrana plasmática quanto à permeabilidade e ao poder seletivo.
10. Explique de forma comparativa as categorias principais de processos de troca entre a célula e o meio externo a ela.
11. Monte um esquema para explicar os conceitos de solução isosmótica (ou isotônica), hiperosmótica (ou hipertônica) e hiposmótica (ou hipotônica).
12. Explique difusão simples, difusão facilitada e osmose. Dê exemplos.
13. Explique de modo comparativo e por meio de esquemas ou desenhos o que acontece com células animais e com células de plantas colocadas em soluções isosmóticas, hiperosmóticas e hiposmóticas.
14. Que problemas uma célula enfrentaria se sua membrana plasmática fosse permeável?
15. Uma solução de 0,9% de cloreto de sódio é isosmótica com os glóbulos vermelhos do sangue. Um técnico de laboratório colocou acidentalmente uma amostra de sangue em uma solução de 1,8% de cloreto de sódio. O que aconteceu com os glóbulos vermelhos dessa amostra de sangue?
16. Explique como a célula consegue manter a diferença de concentração dos íons sódio e potássio dentro e fora delas.
17. Compare fagocitose, pinocitose e exocitose.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Controle osmótico em protistas de água doce

Protistas de água doce, como paramécios e amebas, vivem em um meio cuja concentração é menor do que a do interior da célula. Com isso, muita água penetra em seus corpos por osmose.

No curso da evolução, surgiram estruturas que foram positivamente selecionadas e que contribuem de forma efetiva na regulação osmótica desses organismos: os vacúolos pulsáteis ou contráteis.

Esses vacúolos recolhem do interior da célula a água que entrou em excesso. Quando cheios, eles descarregam essa água para fora da célula através de pequenos orifícios.

A forma dos vacúolos e o número deles por célula variam nos diferentes grupos de protistas.

Veja como são, por exemplo, os vacúolos contráteis de um paramécio:



Micrografia de *Paramecium caudatum*. Mede cerca de 300 µm de comprimento.

- Espécies de protistas que vivem em ambiente marinho em geral não possuem vacúolos contráteis; quando os possuem, eles são reduzidos e pulsam em ritmo mais lento do que os de protistas de água doce. Protistas que vivem dentro do corpo de outros organismos, como é o caso de protistas parasitas, não possuem vacúolos contráteis. Nesses dois casos, você poderia explicar por quê?



TESTES

1. (Unifor-CE) A teoria celular, proposta por Schleiden e Schwann, afirmava que:

- toda célula provém de uma célula pré-existente.
- todas as células vivas têm núcleo individualizado.
- há estreita relação entre forma e função nas células.
- células embrionárias multiplicam-se por mitose.
- vegetais e animais são constituídos por células.

2. (UFF-RJ) O microscópio estereoscópico (lupa) é um instrumento que permite a visualização de estruturas pequenas com bastante clareza, tornando possível o exame morfológico de vários organismos. Que aumento possibilita o exame minucioso das peças bucais de uma barata?

- 40X
- 2 000X
- 6 000X
- 50 000X
- 100 000X

3. (PUC-RS) No início da década de 1970, dois cientistas (Singer e Nicholson) esclareceram definitivamente como é a estrutura das membranas celulares, propondo o modelo denominado mosaico-fluido. Neste conceito, todas as membranas presentes nas células animais e vegetais são constituídas basicamente pelos seguintes componentes:

- ácidos nucléicos e proteínas.
- ácidos nucléicos e enzimas.
- lipídios e enzimas.
- enzimas e glicídios.
- lipídios e proteínas.

4. (MACK-SP) Células animais e vegetais foram colocadas em frascos separados, contendo uma solução de água e NaCl. Após algum tempo, somente as células animais estavam rompidas. Isso permite concluir que a solução era I, provocando II das células animais e III das células vegetais.

Indique a alternativa que preenche correta e respectivamente os espaços I, II e III:

- isotônica; deplasmólise; turgência.
- hipotônica; lise; turgência.
- isotônica; lise; plasmólise.
- hipertônica; lise; turgência.
- hipotônica; deplasmólise; plasmólise.

5. (Fuvest-SP) Pesquisadores norte-americanos produziram uma variedade de tomate transgênico que sobrevive em solos até 50 vezes mais salinos do que o tolerado pelas plantas normais. Essas plantas geneticamente modificadas produzem maior quantidade de uma proteína de membrana que bombeia íons sódio para o interior do vacúolo. Com base em tais informações, pode-se concluir que plantas normais não conseguem sobreviver em solos muito salinos porque, neles, as plantas normais:

- absorvem água do ambiente por osmose.
- perdem água para o ambiente por osmose.
- absorvem sal do ambiente por difusão.
- perdem sal para o ambiente por difusão.
- perdem água e absorvem sal por transporte ativo.

6. (MACK-SP) Considere as seguintes situações:

- Uma célula da raiz de um vegetal absorvendo água do solo.
- Uma célula da folha de uma alface, temperada com sal e vinagre.
- Uma hemácia em um capilar do pulmão.

Indique a alternativa que apresenta o tipo de transporte que cada célula realiza, em cada caso:

	Situação I	Situação II	Situação III
a)	transporte ativo	difusão	difusão
b)	osmose	difusão	osmose
c)	osmose	difusão	transporte ativo
d)	osmose	osmose	difusão
e)	transporte ativo	osmose	osmose

7. (UFSE) Um protista endoparasita do intestino de um inseto é transferido para um recipiente com água doce. Espera-se que esse protista:

- perca moléculas de água por osmose até murchar.
- permanença inalterado por ser impermeável à água.
- absorva moléculas de água por transporte ativo até se romper.
- perca moléculas de água por difusão até murchar.
- absorva moléculas de água por osmose até se romper.

8. (UEPA) “Ao esquentar a temperatura do dia 22 de outubro de 1823, o povo que se postava nas margens da baía do Guajará (Belém-PA) assustou-se com urros de desespero do pedido de água, partidos do porão da embarcação Brigue ‘Palhaço’. O tenente-comandante do Brigue, Joaquim Lúcio de Araújo, mandou que descessem baldes com água salgada. Depois dessa oferta, aumentaram a sede e os lamentos, até que o capitão Grenfell deu ordens para entregar-lhes água, só que desta vez envenenada, morrendo então 252 pessoas.” (Adaptado do jornal *O Liberal*, 22 out. 2000.) A ingestão de água salgada causou nos prisioneiros aumento da sede, porque levou a um:

- equilíbrio osmótico devido à mesma ser hipotônica em relação ao meio intracelular.
- equilíbrio osmótico devido à mesma ser isotônica em relação ao meio intracelular.
- desequilíbrio osmótico devido à mesma ser hipotônica em relação ao meio intracelular.
- desequilíbrio osmótico devido à mesma ser isotônica em relação ao meio intracelular.
- desequilíbrio osmótico devido à mesma ser hipertônica em relação ao meio intracelular.

9. (UFRN) Quando há infecção bacteriana, os neutrófilos englobam os patógenos e os destroem. No processo de destruição dessas bactérias, ocorrem sucessivamente:

- endocitose — formação do fagossomo — formação do vacúolo digestivo — degradação bacteriana — clasmocitose.
- fagocitose — formação do vacúolo autofágico — formação do fagossomo — degradação bacteriana — defecação celular.
- endocitose — formação do vacúolo autofágico — ataque lisossômico — egestão.
- pinocitose — ataque lisossômico — formação do vacúolo digestivo — exocitose.

10. (PUC-RS) **Instrução:** Responder à questão seguinte com base nas informações abaixo.

Quando uma dada célula engloba uma partícula alimentar, verifica-se no seu citoplasma uma série de eventos, tais como:

- o fenômeno denominado clasmocitose;
- enzimas digestivas que passam à fase ativa;
- a fusão do lisossomo com o fagossomo;
- a formação de um tipo de vacúolo dito fagossomo.

A sequência correta do aparecimento desses eventos é:

- 1 — 4 — 2 — 3.
- 3 — 2 — 1 — 4.
- 2 — 3 — 4 — 1.
- 4 — 3 — 2 — 1.
- 2 — 4 — 1 — 3.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Foi feito um experimento utilizando a epiderme de folha de uma planta e uma suspensão de hemácias. Esses dois tipos celulares foram colocados em água destilada e em solução salina concentrada. Observou-se ao microscópio que as hemácias, em presença de água destilada, estouravam e, em presença de solução concentrada, murchavam. As células vegetais não se rompiam em água destilada, mas em solução salina concentrada notou-se que o conteúdo citoplasmático encolhia.

- A que tipo de transporte celular o experimento está relacionado?
- Em que situação ocorre esse tipo de transporte?
- A que se deve a diferença de comportamento da célula vegetal em relação à célula animal? Explique a diferença de comportamento, considerando as células em água destilada e em solução concentrada.

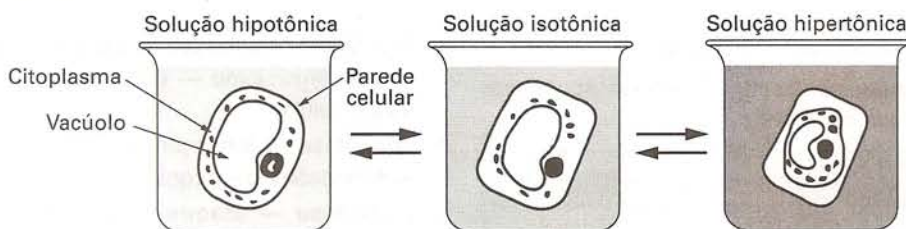
2. (UFRJ — mod.) Na membrana citoplasmática existe uma proteína que faz o transporte ativo (com gasto de energia) de Na^+ para fora da célula.

Outro tipo de proteína da membrana funciona como uma espécie de portão que pode abrir ou fechar, permitindo ou não a passagem do Na^+ . Com o portão fechado, o Na^+ acumula-se do lado de fora da célula, o que aumenta a pressão osmótica externa, compensando a grande concentração de soluto orgânico no citoplasma. Isso evita a entrada excessiva de água por osmose.

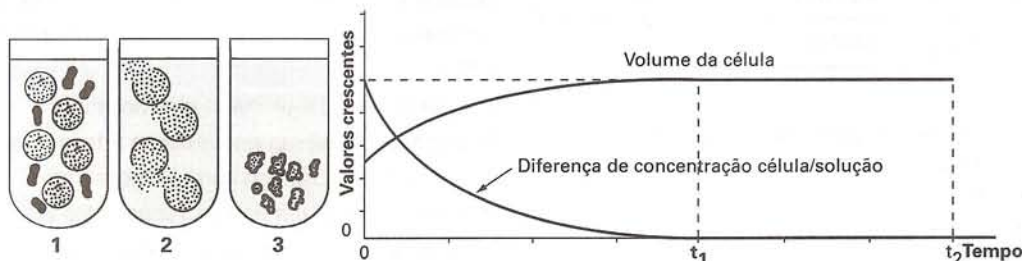
- Que estrutura celular torna menos importante essa função de equilíbrio osmótico do Na^+ nas células vegetais? Justifique sua resposta.
- Entre as duas proteínas descritas, qual delas permite o movimento do Na^+ a favor do seu gradiente de concentração? Justifique.

3. (UFPB) Em uma célula, vários são os mecanismos envolvidos na entrada e saída de íons, moléculas pequenas, macromoléculas e partículas diversas. Cite e explique dois desses mecanismos, onde as proteínas integrantes da membrana citoplasmática desempenhem papel de fundamental importância.

4. (UFAL) Explique os processos representados na figura abaixo, relacionando-os com as características das membranas e da parede celular da célula vegetal.



5. (UFSCar-SP) A figura mostra três tubos de ensaio (1, 2 e 3) contendo soluções de diferentes concentrações de NaCl e as modificações sofridas, após algum tempo, por células animais presentes em seu interior. O gráfico, ao lado dos tubos de ensaio, corresponde a duas alterações ocorridas nas células de um dos três tubos de ensaio.



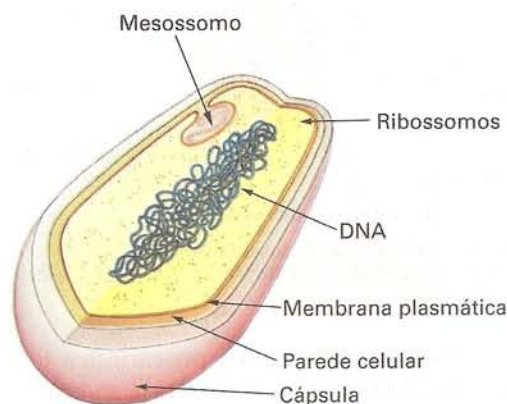
Analisando a figura e o gráfico, responda:

- A que tubo de ensaio correspondem os resultados apresentados no gráfico e qual a tonicidade relativa da solução em que as células estão mergulhadas?
- Em qual tubo de ensaio a tonicidade relativa da solução é isotônica? Justifique.

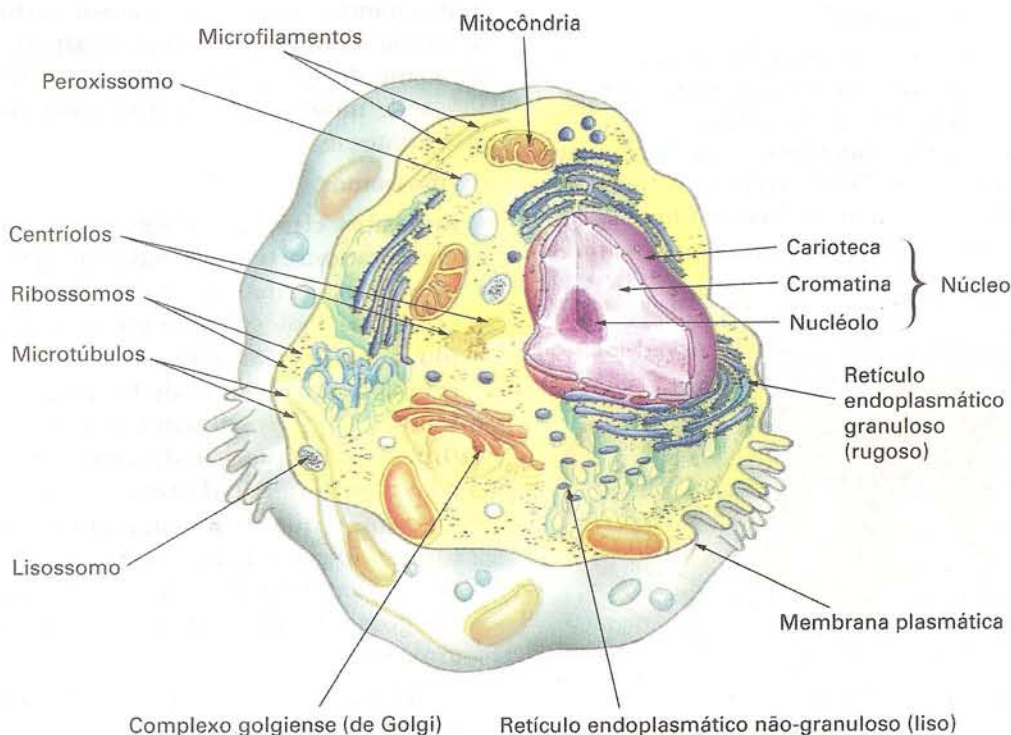
Citoplasma

1. Comparando células procarióticas com eucarióticas

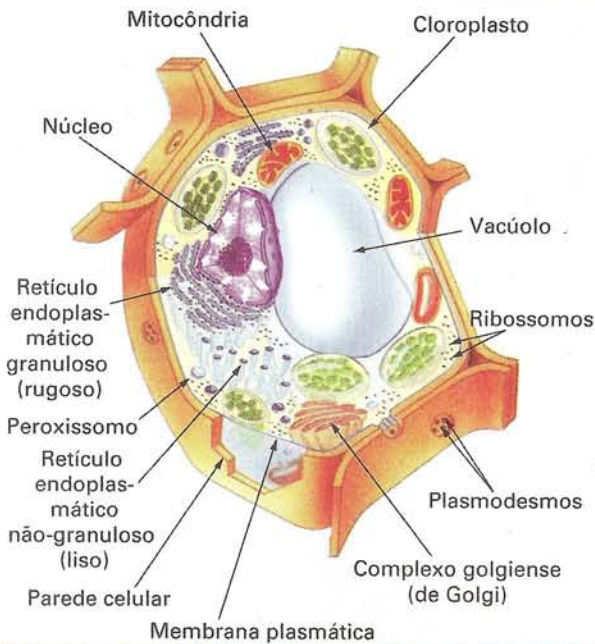
As três figuras seguintes mostram representações esquemáticas de uma célula procariótica e de duas células eucarióticas, uma delas exemplificando célula animal e a outra, célula vegetal. Esses esquemas foram feitos com base em observações ao microscópio eletrônico. Compare a estrutura do citoplasma e procure retomar tudo o que já foi discutido até aqui sobre a origem e a evolução das células.



Esquema de célula de bactéria vista com parte da célula removida, mostrando o mesossomo. Mede cerca de 3 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Esquema de célula animal (eucariótica) com parte da célula removida. Mede cerca de 20 μm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

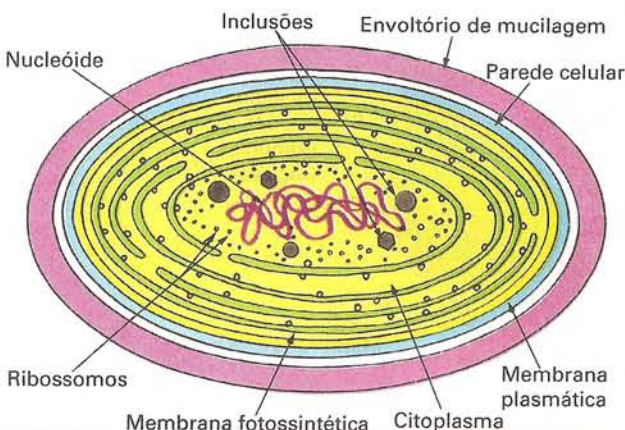


Esquema de célula vegetal (eucariótica) com parte da célula removida. Mede cerca de 100 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

O citoplasma da célula procariótica é muito mais simples do que o da eucariótica, mesmo quando analisado ao microscópio eletrônico. Ele é formado por uma matriz rica em água, com diversos íons e moléculas dissolvidos.

Trata-se de um citoplasma no qual não existem estruturas delimitadas por membranas. Exceções a essa generalização são:

- o **mesossomo** — invaginação da membrana plasmática para dentro do citoplasma; está presente em alguns tipos de bactérias;
- as **membranas fotossintéticas** — estão presentes no citoplasma das cianobactérias; as moléculas de clorofila localizam-se nessas membranas, que, portanto, estão relacionadas com a fotossíntese.



Esquema, feito com base em observações ao microscópio eletrônico, de uma cianobactéria vista em corte. Mede cerca de 5 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

Imersos no citoplasma das células procarióticas estão os **ribossomos** — estruturas semelhantes a pequenos grãos, sem membrana delimitante. Eles são formados por proteínas associadas a um tipo de ácido nucléico denominado **ácido ribonucléico ribossômico (RNAr)**.

Os ribossomos estão relacionados com a síntese de proteínas e ocorrem também nas células eucarióticas.

Na matriz citoplasmática das células procarióticas encontra-se disperso o material genético, constituído por uma única molécula circular de DNA. Essa região da célula recebe o nome de **nucleóide**. Não existe uma membrana separando o nucleóide do restante do citoplasma.

Nas células eucarióticas, o material genético fica separado do citoplasma por uma estrutura membranosa chamada **carioteca**, formando o núcleo. Nas células procarióticas não há, portanto, núcleo.

Além do DNA localizado no nucleóide, no citoplasma das células procarióticas podem existir uma ou várias pequenas moléculas circulares de DNA chamadas **plasmídeos**, que contêm genes geralmente relacionados com a resistência das bactérias a antibióticos.

O citoplasma das células eucarióticas corresponde a toda a região situada entre a membrana plasmática e a carioteca. Ele é constituído por um fluido chamado **citossol** (ou **citossol**, ou **hialoplasma**, ou, ainda, **citoplasma fundamental**), composto basicamente de água, íons e substâncias necessárias à síntese de moléculas orgânicas, onde estão imersas as seguintes estruturas:

- **ribossomos**;
- **inclusões citoplasmáticas** — estruturas não-membranosas, temporárias e que geralmente representam formas de reserva de substâncias na célula. As moléculas de glicogênio, por exemplo, podem ficar armazenadas no citossol de células animais ou no de fungos, em microgrânulos, aos quais aderem enzimas que realizam síntese ou degradação de glicogênio, de acordo com a necessidade da célula. Outro exemplo é a gordura, que se acumula em células animais formando gotas que, nas células adiposas, chegam a ocupar praticamente todo o citossol. Essas gotas de gordura são reservas de ácidos graxos;
- **citoesqueleto** — responsável pela forma e sustentação interna da célula, pelo movimento do citoplasma e pela contração das células musculares;

- **organelas membranosas** — estruturas delimitadas por membranas. As organelas membranosas presentes em praticamente todas as células eucarióticas são: **retículo endoplasmático**, **complexo golgiense** (aparelho ou complexo de Golgi), **lisossomos**, **peroxissomos** e **mitocôndrias**. Os **cloroplastos** ocorrem apenas em células de organismos eucariontes fotossintetizantes, e os **vacúolos de suco celular** ocorrem nas células de plantas e algas multicelulares.

As organelas membranosas representam cerca de 40% do volume total de uma célula. Esse é, no entanto, um valor médio, variando de célula para célula em um mesmo indivíduo, de espécie para espécie e de reino para reino. Além disso, essa porcentagem depende também da atividade metabólica da célula.

2. O estudo do citoplasma

Para facilitar o estudo do citoplasma, vamos analisá-lo sob o ponto de vista funcional (ou fisiológico), e não apenas sob o morfológico. Para isso, vamos considerar as principais funções citoplasmáticas e as estruturas envolvidas na execução dessas funções:

- os **movimentos celulares**, que são o **movimento de ciclose**, o **movimento amebóide**, o **movimento ciliar** e o **movimento flagelar**. Dentro desse tema será discutido o citoesqueleto;
- a **síntese**, o **armazenamento** e o **transporte de macromoléculas**, funções em que as organelas envolvidas são os ribossomos, o retículo endoplasmático, o complexo golgiense, os lisossomos, os peroxissomos e os vacúolos;
- o **metabolismo energético das células**, que é feito por processos de obtenção de energia (**fotossíntese** e **quimiossíntese**) e de liberação de energia (**fermentação** e **respiração**). Incluídos nesse tema estão o citosol, os cloroplastos e as mitocôndrias.

3. Citoesqueleto

O citoesqueleto é composto principalmente de dois tipos de filamento protéico: os microtúbulos e os microfilamentos.

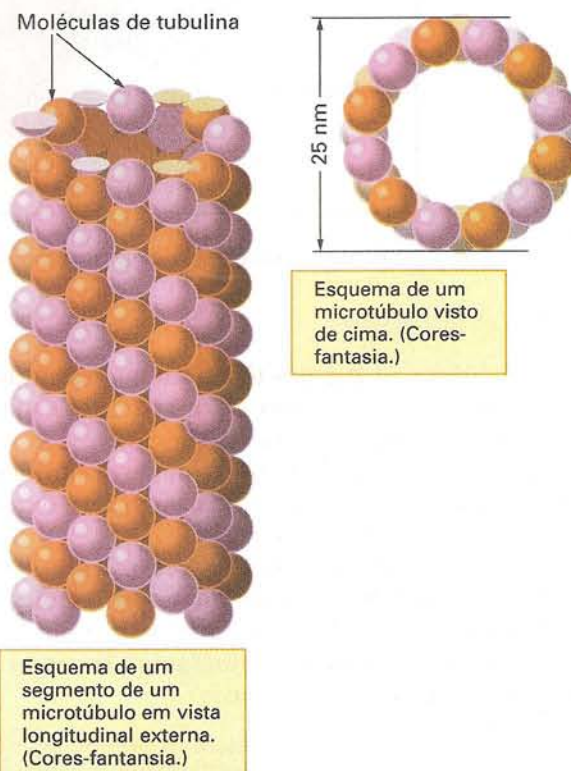
3.1. Microtúbulos

Os microtúbulos, como o próprio nome diz, são pequenas estruturas cilíndricas, ocas. São constituídos de várias moléculas de uma proteína globular, denominada **tubulina**, que se dispõem em um padrão helicoidal, originando a parede do túbulo. Essas moléculas podem se desagregar, desfazendo o microtúbulo, e podem se reorganizar e originar novamente o microtúbulo.

A principal função dos microtúbulos é atuar como uma espécie de “andaime” celular, dando suporte estrutural tanto para manter o formato da célula quanto para organizar a disposição interna das organelas citoplasmáticas.

Além disso, formam as fibras protéicas que participam dos processos de divisão celular (fuso mitótico e fuso meiótico), orientando o deslocamento dos cromossomos durante esses processos.

Os microtúbulos participam da organização de estruturas denominadas **centríolos**, **cílios** e **flagelos**.



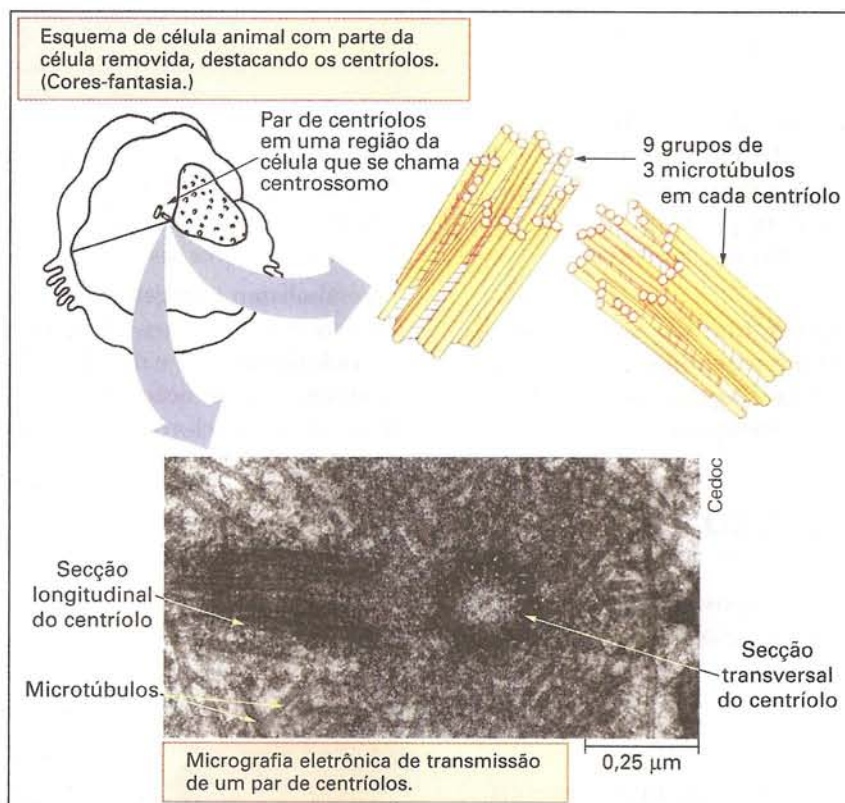
Centríolos

Os centríolos são estruturas citoplasmáticas existentes nas células de protistas, animais, algas, briófitas e pteridófitas. Não estão presentes em células das angiospermas e nas de algumas gimnospermas, como é o caso dos pinheiros.

Os centríolos ocorrem aos pares nas células, dispostos perpendicularmente entre si e localizados próximo ao núcleo em uma região denominada **centro celular** ou **centrossomo**, de onde partem os microtúbulos do citoesqueleto.

Células que não possuem centríolo, como é o caso dos pinheiros e das angiospermas, possuem, no entanto, o centrossomo.

Cada centríolo é uma estrutura cilíndrica, composta de nove grupos de três microtúbulos protéicos.



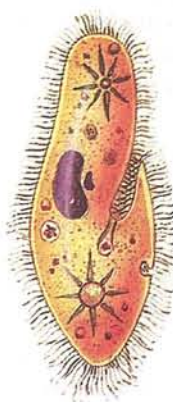
O centríolo é responsável pela organização de dois tipos de estruturas celulares: os cílios e os flagelos.

Cílios e flagelos

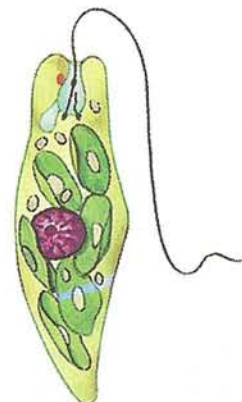
Os cílios e os flagelos têm a mesma estrutura interna. Os cílios, no entanto, são mais curtos e mais numerosos por célula do que os flagelos.

Essas estruturas ocorrem em seres multicelulares e também em muitos protistas, como é o caso dos ciliados e dos flagelados.

Nesses organismos unicelulares, os cílios e os flagelos têm a função básica de promover o deslocamento em meio líquido ou mesmo de promover a movimentação do líquido circundante, de modo a propiciar a obtenção de alimento.

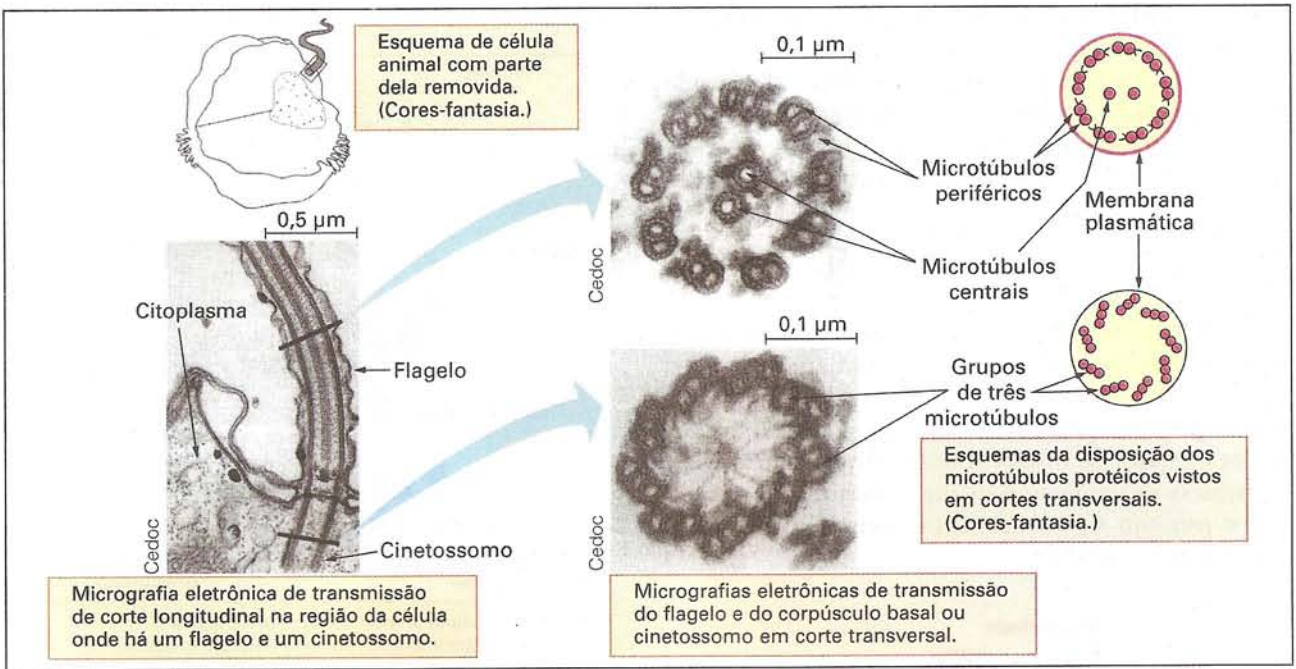


Esquema de *Paramecium* (ciliado). Cílios recobrem todo o corpo e são usados na locomoção e na obtenção de alimento. Mede cerca de 300 µm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Esquema de *Euglena* (flagelado); flagelo usado na locomoção. Mede cerca de 100 µm de comprimento, sem considerar o flagelo. (Cores-fantasia.)

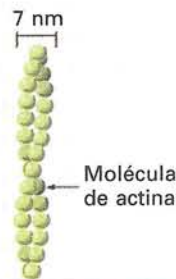
Os cílios e os flagelos são centríolos modificados e muito alongados. A parte basal, que lhes dá origem, é chamada **cinetossomo** ou **corpúsculo basal** e tem a mesma estrutura do centríolo. Desse cinetossomo, dois microtúbulos protéicos, de cada grupo de três, alongam-se, empurrando a membrana plasmática. São formados, ainda, dois microtúbulos centrais. Portanto, os cílios e os flagelos são compostos de nove grupos de dois microtúbulos periféricos e de um grupo de dois microtúbulos centrais (organização microtubular na base 9 + 2).



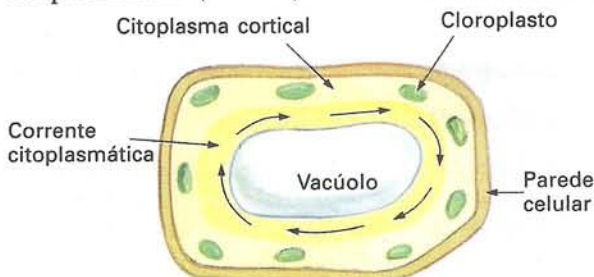
3.2. Microfilamentos

Os microfilamentos são formados por várias moléculas de uma proteína globular denominada **actina**.

Juntamente com outra proteína, denominada **miosina**, os microfilamentos compõem as principais estruturas do mecanismo contrátil da célula: são eles os responsáveis pela contração e distensão das células musculares. Além disso, participam de outros processos, tais como movimentos citoplasmáticos (cicloses) e movimento amebóide.



Esquema de trecho de um microfilamento. (Cores-fantasia.)

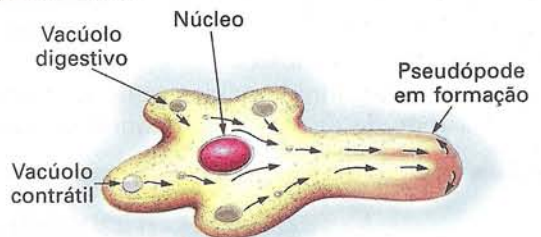


Esquema de célula vegetal em corte, com as setas indicando a ciclose. Mede cerca de 100 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

Cicloses são correntes citoplasmáticas capazes de deslocar organelas como mitocôndrias, vacúolos digestivos e cloroplastos.

Em alguns casos, como na ameba, a movimentação do citoplasma altera a forma da célula, podendo provocar seu deslocamento. Por essa razão esse processo recebe o nome de **movimento amebóide**.

No movimento amebóide o deslocamento ocorre pela formação de projeções citoplasmáticas que recebem o nome de **pseudópodes** (*pseudo* = falso; *podes* = pés).



Esquema de formação de pseudópode em ameba. As setas de dentro da célula indicam o sentido das correntes citoplasmáticas. Estruturas celulares como núcleo e vacúolos são arrastados por essas correntes. Mede cerca de 0,5 mm de comprimento. (Cores-fantasia.)

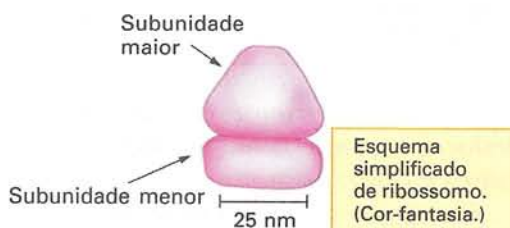
4. Síntese, transporte e armazenamento das macromoléculas

As macromoléculas fazem parte da constituição da célula e são indispensáveis à fisiologia celular. Produzidas pela atividade celular, elas são armazenadas e transportadas no citoplasma.

Vamos analisar as estruturas que participam desse processo, lembrando que para a sua realização há necessidade de energia; o modo como a célula obtém e libera energia será discutido no próximo capítulo.

4.1. Ribossomos

Os ribossomos são estruturas encontradas tanto em células procarióticas como em eucarióticas e participam do processo de síntese protéica. São formados por duas partes arredondadas, com tamanhos diferentes, que se dispõem uma sobre a outra. Essas estruturas são constituídas basicamente por proteínas e por um tipo de ácido ribonucleico: o **RNA ribossômico (RNAr)**.



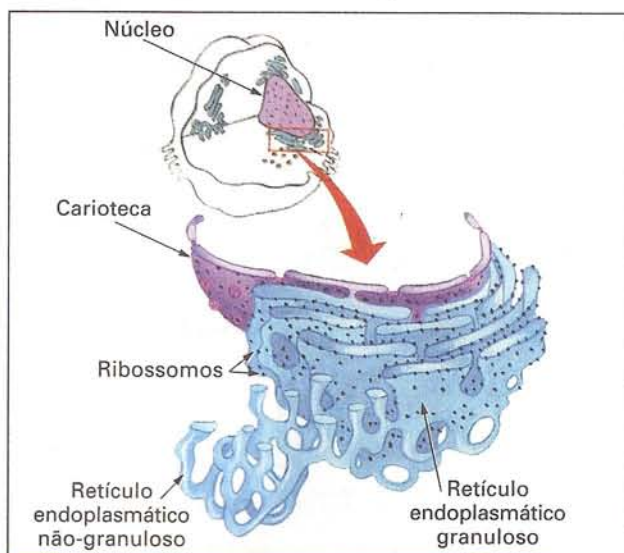
Os ribossomos são visíveis apenas ao microscópio eletrônico. Nos eucariontes, eles ocorrem dispersos no citoplasma ou associados ao retículo endoplasmático granuloso.

4.2. Retículo endoplasmático

O retículo endoplasmático é composto de canais delimitados por membranas. Esses canais comunicam-se com a carioteca.

O retículo endoplasmático pode ser considerado uma rede de distribuição, levando o material

de que a célula necessita de um ponto qualquer até o ponto de utilização. O retículo endoplasmático tem, portanto, função de transporte.



Esquema de célula animal com parte da célula removida, destacando os retículos endoplasmáticos granuloso e não-granuloso. (Cores-fantasia.)

Existem dois tipos:

- **retículo endoplasmático não-granuloso (liso ou agranular)**, com sistemas de túbulos mais cilíndricos e sem ribossomos aderidos à membrana;
- **retículo endoplasmático granuloso (granular ou rugoso)**, com sistemas de túbulos achatados e ribossomos aderidos à membrana, o que lhe confere aspecto granular.

Fisiologicamente, esses retículos também são diferentes.

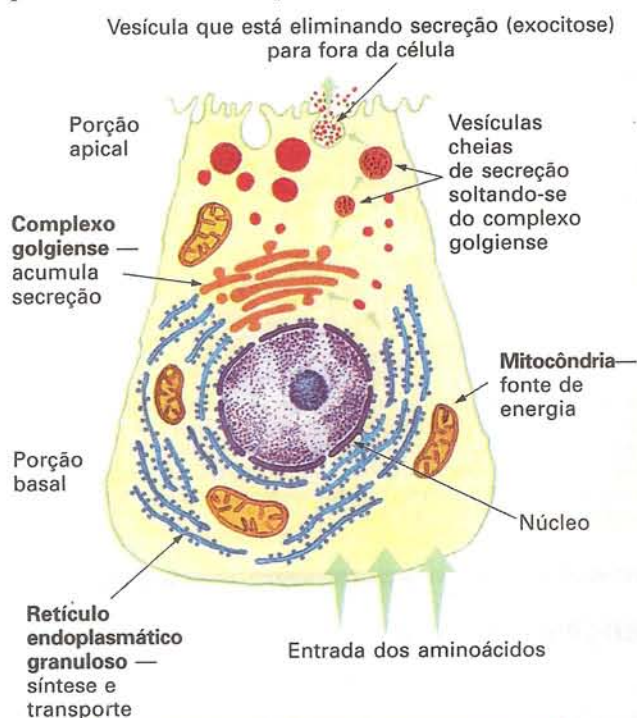
O retículo **não-granuloso** participa principalmente da síntese de esteróides, fosfolípidios e outros lipídios, como o colesterol. Atua também na degradação do álcool ingerido em bebidas alcoólicas. Esse tipo de retículo é abundante em células do fígado e das gônadas.

O retículo endoplasmático e a tolerância ao álcool

O álcool e mesmo outras drogas, como os sedativos, quando ingeridos em excesso ou com frequência, induzem à proliferação do retículo não-granuloso e de suas enzimas. Isso aumenta a tolerância do organismo à droga, o que significa que doses cada vez mais altas são necessárias para que ela possa fazer efeito. Esse aumento de tolerância a uma droga pode trazer como consequência o aumento de tolerância a certos medicamentos, como é o caso de antibióticos.

Esse é um alerta importante para que possamos entender parte dos problemas decorrentes da ingestão de bebidas alcoólicas e do uso de medicamentos sem prescrição médica.

A principal função do retículo **granuloso** é a síntese de proteínas, que poderão ou não ser enviadas para o exterior das células. Esse retículo é também denominado **ergastoplasma**, palavra originada do grego *ergozomai*, que significa elaborar, sintetizar. Esse tipo de retículo é muito desenvolvido em células que têm função secretora. É o caso, por exemplo, das células do pâncreas, que secretam enzimas digestivas, e também o das células caliciformes da parede do intestino, que secretam muco.



Esquema de uma célula pancreática, como é vista ao microscópio eletrônico. Mede cerca de 15 μm de largura. (Cores-fantasia.)

4.3. Complexo golgiense

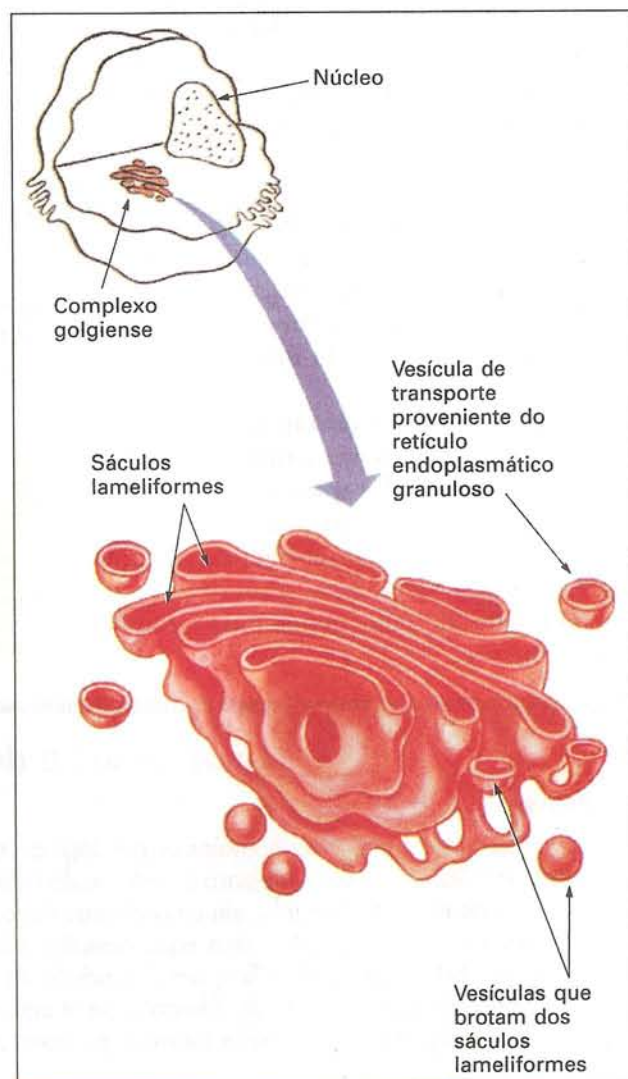
As proteínas produzidas no retículo endoplasmático granuloso são levadas até o complexo golgiense por meio de vesículas que se destacam do retículo.

O **complexo golgiense** (complexo de Golgi ou aparelho de Golgi) é formado por vários conjuntos de sacos lameliformes interligados denominados **dictiossomos** ou **golgiossomos**. Localiza-se geralmente próximo ao núcleo e ao retículo endoplasmático granuloso.

As proteínas sintetizadas no retículo granuloso chegam ao complexo golgiense e são modificadas. Vesículas contendo essas proteínas modificadas são liberadas do complexo golgiense. Essas vesículas podem ser grânulos de secreção, que liberam o seu conteúdo para o exterior da célula pelo processo de

exocitose, ou lisossomos, responsáveis pela digestão intracelular.

O complexo golgiense é mais desenvolvido nas células secretoras, porém sua função não é a produção das secreções protéicas, mas a modificação e a eliminação dessas secreções.



Esquema de célula animal com parte da célula removida, destacando o complexo golgiense. (Cores-fantasia.)

O complexo golgiense produz alguns tipos de polissacarídeos, como a hemicelulose presente na parede celular de plantas e os carboidratos das glicoproteínas.

4.4. Lisossomos

Os lisossomos são corpúsculos citoplasmáticos arredondados, pequenos e que possuem em seu interior grande quantidade de enzimas que realizam a digestão intracelular. Devido a isso, os lisossomos estão ligados às funções heterofágica e autofágica.

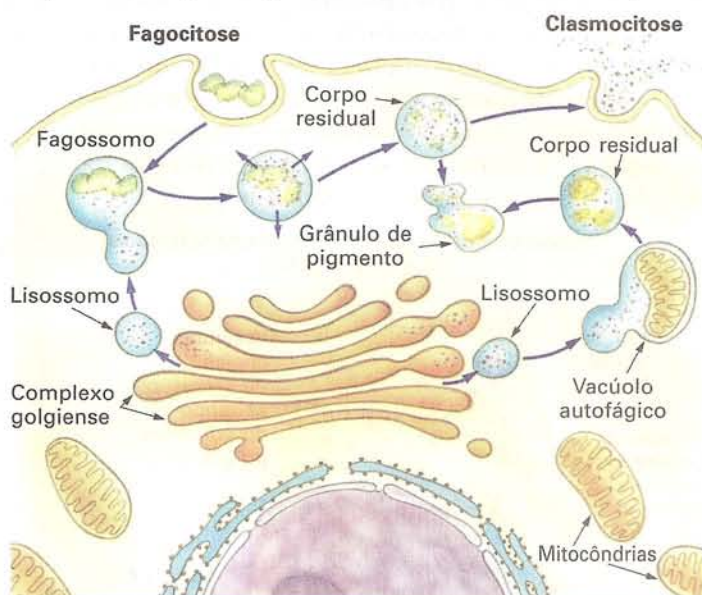
Função heterofágica

As partículas alimentares que penetram na célula por fagocitose ou pinocitose ficam no interior de vacúolos denominados alimentares (fagossomos ou pinossomos), aos quais se fundem os lisossomos primários, formando vacúolos digestivos (ou lisossomos secundários). Nestes ocorre a digestão. Havendo resíduos, eles são temporariamente armazenados no interior dessas estruturas, que passam a ser chamadas vacúolos ou corpos residuais. Em seguida, os resíduos podem ser eliminados da célula por clasmocitose.

Função autofágica

Em muitas células normais, a função autofágica ocorre por um processo de digestão de estruturas citoplasmáticas que não estão mais realizando suas funções, contribuindo para a renovação do material citoplasmático.

Muitas vezes, entretanto, mesmo sob condições normais, os lisossomos destroem totalmente as células. É o que ocorre durante a metamorfose dos anfíbios, em que a cauda do girino é completamente digerida por ação dos lisossomos. Nesse caso, o produto da digestão é utilizado pelo animal para o seu desenvolvimento.



Esquema com resumo das funções autofágica e heterofágica dos lisossomos. Depois que o processo de digestão se completa, forma-se o corpo residual. Dependendo do tipo de célula, o conteúdo do corpo residual pode ser eliminado por clasmocitose ou retido no citoplasma como um grânulo de pigmento. (Elementos representados fora de proporção e com cores-fantasia.)

Lisossomos e doenças humanas

Silicose

Sob certas condições anômalas ou patológicas, a membrana do lisossomo pode perder sua estabilidade, romper-se e liberar as enzimas para o restante da célula, com consequências catastróficas.

Isso ocorre, por exemplo, em uma doença denominada silicose, freqüente em indivíduos que trabalham em minas ou com britadeiras, sem equipamentos adequados de proteção. Nesses casos há inspiração de grande quantidade de pó de sílica, um dos principais componentes das rochas. A sílica destrói os lisossomos das células pulmonares, havendo liberação de enzimas digestivas no interior do citoplasma. Os componentes celulares são digeridos e as células morrem, provocando diminuição da capacidade pulmonar.

Artrite reumatóide

Em condições anormais, a liberação de enzimas dos lisossomos para fora da célula pode ser muito prejudicial. É o que ocorre em certos tipos de doenças inflamatórias — como a artrite reumatóide —, nas quais se acredita haver liberação dessas enzimas para o espaço extracelular, causando estragos aos materiais das articulações.

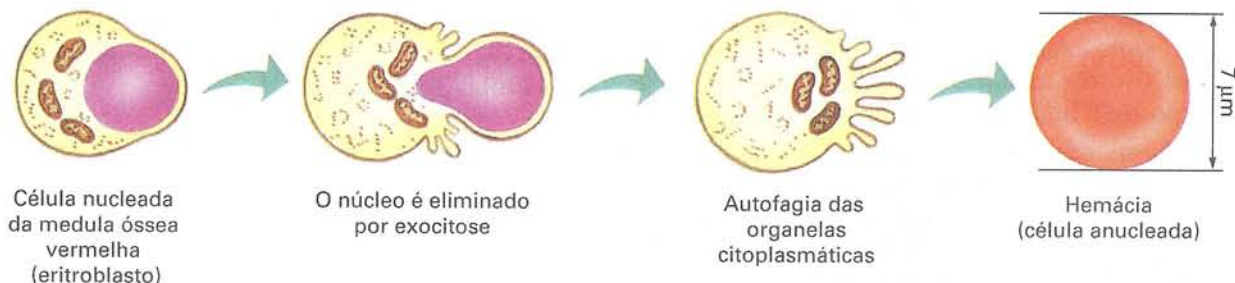
Os hormônios cortisona e hidrocortisona, que podem ser empregados no tratamento dessas doenças, atuam pelo menos em parte sobre a estabilidade da membrana do lisossomo, evitando seu rompimento.

Doença de Tay-Sachs

A doença de Tay-Sachs é hereditária e decorre principalmente do mau funcionamento das enzimas dos lisossomos das células nervosas do cérebro. Essa deficiência provoca lesões graves e irreversíveis, determinando retardo mental e morte ainda na infância.

A autofagia é também responsável pela transformação de um tipo celular em outro. É o que ocorre no processo de formação das hemácias (ou **eritrócitos**), células desprovidas de núcleo e de organelas, mas que se originam de células (**eritroblastos**) da medula óssea vermelha que contêm essas estruturas. Nesse processo de

transformação, o núcleo é eliminado da célula e os lisossomos dos eritroblastos digerem, por autofagia, as estruturas citoplasmáticas, eliminando os resíduos por exocitose. Formam-se, então, as hemácias, que penetram na corrente sanguínea.



Esquema das modificações sofridas por células que darão origem às hemácias (glóbulos vermelhos do sangue). (Cores-fantasia.)

4.5. Peroxissomos

Os peroxissomos são organelas membranosas de contorno arredondado e com a função principal de decompor o peróxido de hidrogênio (água oxigenada: H_2O_2). Essa decomposição é muito importante e deve ser realizada rapidamente toda vez que o peróxido de hidrogênio, que é muito tóxico, é formado por algumas reações que ocorrem normalmente na célula. Essa decomposição é feita pela enzima **catalase**, dando como produto água e oxigênio.

É a liberação do oxigênio que causa o borbulhamento observado quando se coloca água oxigenada sobre ferimentos da pele.

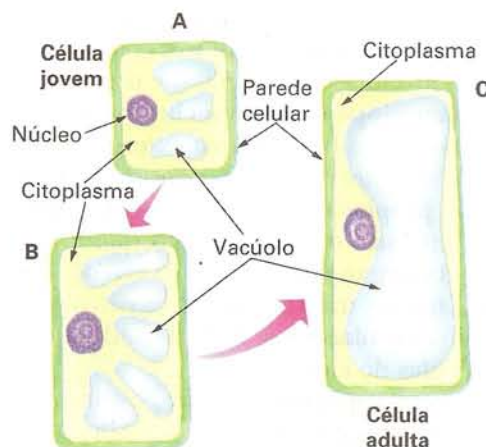
Os peroxissomos são também importantes na desintoxicação do organismo. Cerca de 25% do etanol ingerido é degradado pelos peroxissomos das células do fígado. O restante é degradado no retículo não-granuloso.

As enzimas contidas nos peroxissomos são produzidas pelos ribossomos livres no citosol e incorporada a eles.

4.6. Vacúolos

Os **vacúolos de suco celular** são delimitados pelo **tonoplasto**, membrana lipoprotéica, e são exclusivos das células de plantas e de certas algas. Nas células jovens de plantas são numerosos e peque-

nos, e à medida que a célula cresce eles se fundem em um único, grande e bem-desenvolvido vacúolo.



Esquema de célula vegetal jovem (A), que mede cerca de 5 µm de altura; célula de tamanho intermediário (B); e célula adulta (C), que mede cerca de 100 µm de altura. (Cores-fantasia.)

No interior do vacúolo há uma solução aquosa de várias substâncias, destacando-se sais, carboidratos e proteínas. Os vacúolos de suco celular são importantes nos fenômenos osmóticos e, por poderem conter também pigmentos, como as **antocianinas**, são os principais responsáveis pela coloração azul, violeta, vermelha e púrpura de flores e folhas.

5. Plastos e cloroplastos

Os plastos são estruturas encontradas somente em células de plantas e de alguns protistas, e podem ser classificados em três tipos:

- **cloroplastos** — contêm como pigmentos clorofila e carotenóides;
- **cromoplastos** — contêm como pigmentos os carotenóides, mas não clorofila; não realizam fotossíntese e são responsáveis pela coloração amarelada, alaranjada e avermelhada de flores, folhas velhas, alguns

frutos e raízes. Por influírem na coloração de plantas, exercem atração sobre animais, colaborando com a polinização e a dispersão de espécies de plantas;

- **leucoplastos** — são incolores, pois não contêm pigmentos. Alguns armazenam amido (**amiloplastos**), outros armazenam óleos e proteínas. Se expostos à luz, podem dar origem a cloroplastos.

Neste capítulo nos deteremos na estrutura e na função dos cloroplastos das plantas.

Os cloroplastos são organelas importantes que participam do processo da fotossíntese. Existem cloroplastos de diversas formas e em número variável por célula. Em algas multicelulares, é comum encontrarmos cloroplastos relativamente grandes e em pequeno número por célula (um ou dois); em células de plantas terrestres costumam ser pequenos e numerosos por célula.

Os cloroplastos das células de plantas, quando examinados em cortes ao microscópio eletrônico, mostram-se formados por três componentes principais: o envelope, os tilacóides e o estroma.

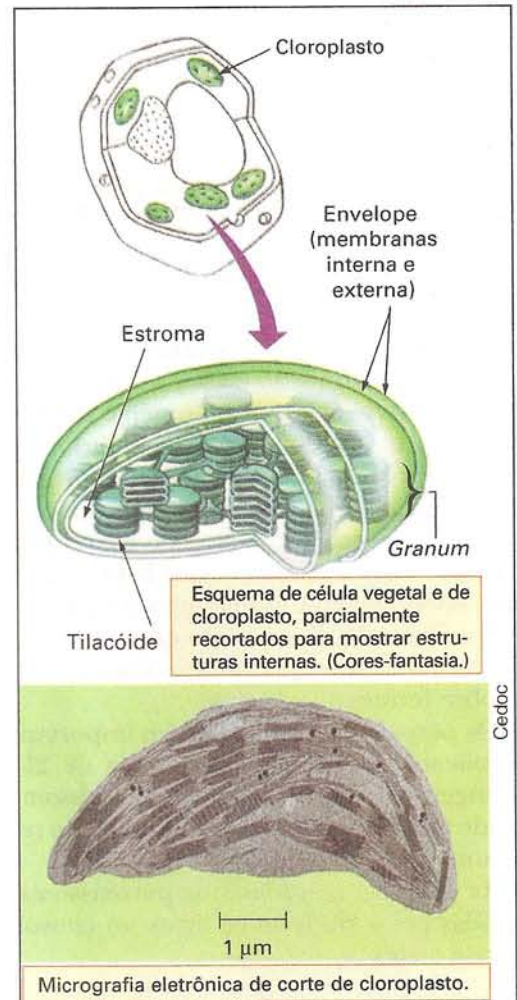
O **envelope** delimita o cloroplasto e é formado por duas membranas: uma externa e outra interna. Os cloroplastos jovens, denominados **proplastídeos** ou **proplastos**, possuem a membrana externa lisa e a interna com evaginações que liberam para dentro da organela pequenas vesículas membranosas. Estas se transformam em discos achatados denominados **tilacóides**. Nos tilacóides localizam-se as moléculas de clorofila.

Nos cloroplastos maduros, os tilacóides organizam-se formando estruturas semelhantes a pilhas de moedas. Cada “pilha” recebe o nome de **granum**, e o conjunto delas recebe o nome de **grana**. As diversas “pilhas” podem comunicar-se entre si.

Se durante a sua formação a planta não receber luz, os proplastídeos darão origem a leucoplastos.

O **estroma** corresponde à região do cloroplasto entre o envelope e os tilacóides. No

estroma há ribossomos, DNA e RNA relacionados com a síntese de algumas das proteínas dos cloroplastos (muitas outras são sintetizadas no citosol e depois incorporadas ao cloroplasto). Os cloroplastos, assim como as mitocôndrias, têm a capacidade de se duplicar independentemente da célula.



6. Mitocôndrias

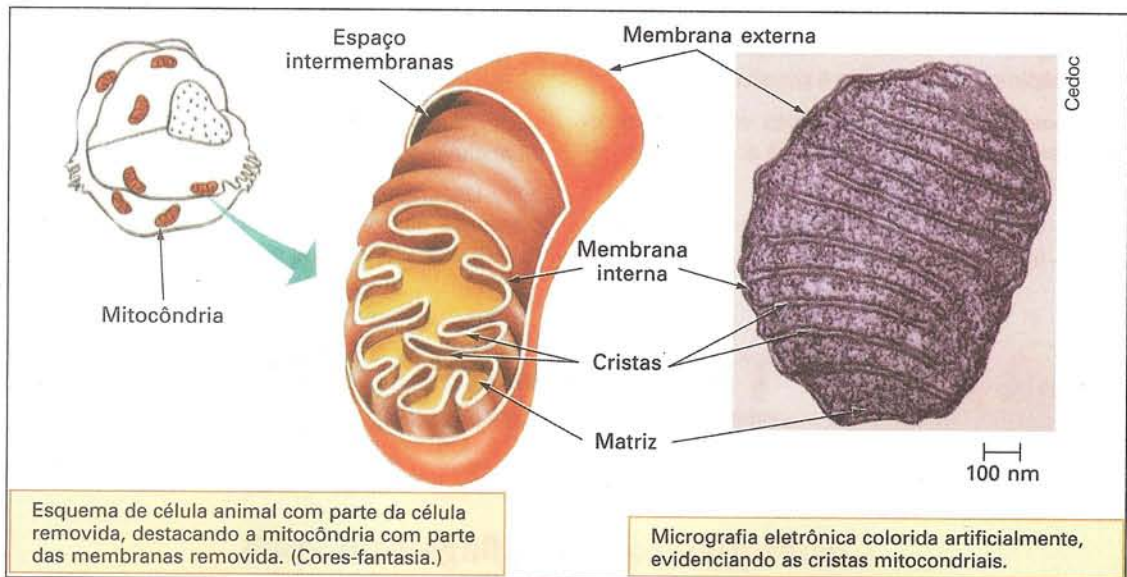
As mitocôndrias são organelas responsáveis pela respiração celular aeróbia.

O conjunto das mitocôndrias de uma célula recebe o nome de **condrioma**. O número de mitocôndrias que constituem o condrioma é bastante variável entre as células de um mesmo indivíduo, sendo maior nas que possuem maior atividade metabólica.

A mitocôndria apresenta, em geral, a forma de um bastonete. Possui duas membranas lipoprotéicas: uma externa, lisa e contínua, e outra interna, que apresenta invaginações, formando as **cristas mitocondriais**.

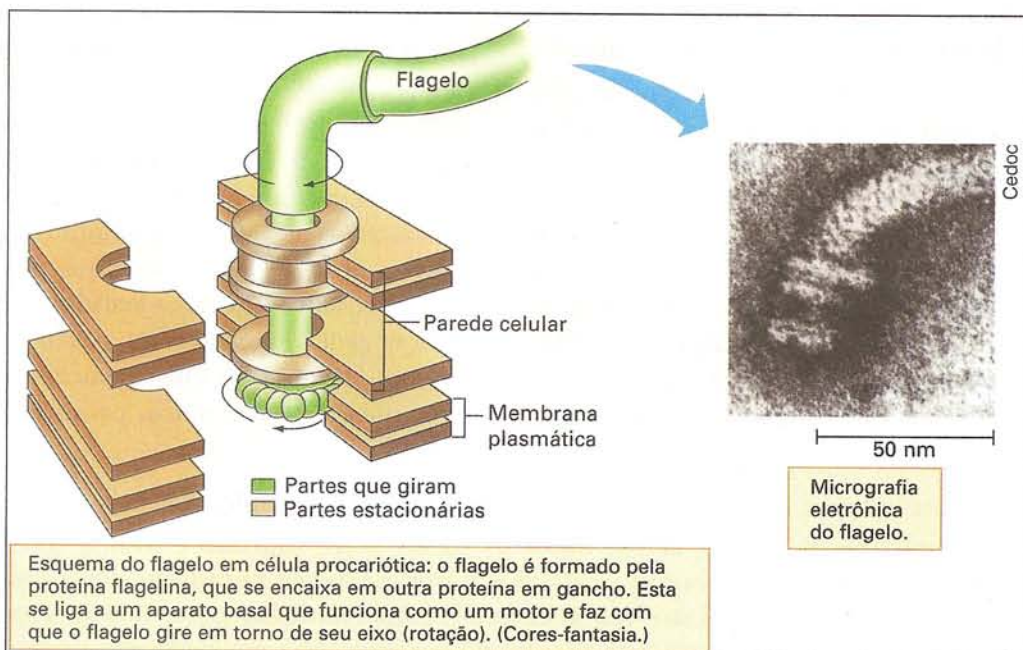
As cristas mitocondriais delimitam a **matriz mitocondrial**, rica em enzimas que participam de uma das etapas da respiração. Imersos nessa matriz

também podem ser encontrados: grânulos densos, que representam principalmente acúmulos de íons cálcio e magnésio; ribossomos chamados mitorribossomos, menores que os ribossomos citoplasmáticos; e moléculas de DNA e RNA.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. As bactérias podem apresentar flagelo. Neste capítulo, dissemos que os flagelos derivam da modificação dos microtúbulos do centríolo. Dissemos também que nos procariontes e, portanto, nas bactérias não há citoesqueleto; conseqüentemente, não há microtúbulos nem centríolo. Como pode, então, haver flagelo em bactérias? Para ajudá-lo a responder, analise a figura a seguir:



2. Com base em sua resposta à questão anterior, em seus conhecimentos prévios e nos adquiridos ao ler este livro, o que você pode dizer sobre a evolução dos mecanismos relacionados com o deslocamento em meio líquido nas células procarióticas e eucarióticas?

3. Os cloroplastos são organelas responsáveis pela fotossíntese. As cianobactérias não possuem cloroplastos e fazem fotossíntese. Como isso é possível?

4. As mitocôndrias são organelas responsáveis pela respiração. As bactérias não possuem mitocôndrias e muitas delas fazem respiração. Como isso é possível?

5. Os lisossomos são chamados muitas vezes de “sistemas de autodestruição das células”. Você acha essa denominação apropriada? Justifique.

6. Compare uma célula procariótica com uma célula eucariótica no que se refere às estruturas citoplasmáticas

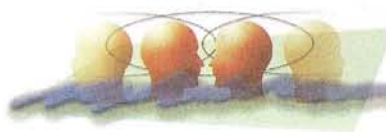
envolvidas com a produção de proteínas. Em que essas células diferem e em que elas se assemelham?

7. Cite vantagens da função autofágica dos lisossomos. Dê exemplos em que essas vantagens podem ser constatadas.

8. Cite três doenças humanas relacionadas com disfunções do lisossomo.

9. Explique qual a vantagem para a célula de a digestão intracelular ocorrer no interior de vacúolos.

10. Descreva a estrutura dos vacúolos de suco celular presentes nas células vegetais e diga quais funções eles podem executar nessas células.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Citoesqueleto, cílios, flagelos e você

O que será que o citoesqueleto, os cílios e os flagelos têm a ver com a sua vida? Vamos parar para pensar no seguinte:

1. A fagocitose só existe porque, dentre outros fatores, as células eucarióticas possuem citoesqueleto. Uma bactéria não tem capacidade de fagocitar, pois, além de ter parede celular, que impede a alteração da forma do corpo, ela não tem citoesqueleto. A importância da fagocitose nos mecanismos de defesa do nosso corpo é muito grande.
2. Você surgiu de uma célula-ovo, resultante da união do espermatozoíde com o óvulo. O que isso tem a ver com o capítulo? Muito. Na evolução dos processos sexuais de reprodução nos animais, foram selecionadas positivamente células reprodutoras masculinas com capacidade de deslocamento em meio líquido pelo batimento do flagelo. Podemos ir mais longe. Óvulos e espermatozoides são formados por um processo de divisão celular chamado meiose, que estudaremos mais adiante. Os microtúbulos e microfilamentos contribuem

para o sucesso dessa divisão celular. O citoesqueleto participou de outro processo de divisão celular: a mitose. Por mitose, a célula-ovo da qual você derivou dividiu-se inúmeras vezes, até formar você. Assim, dentre os fatores que contribuíram para que você pudesse estar agora lendo este texto, está o citoesqueleto. Quem diria, não?

3. A contração de todos os músculos de seu corpo — desde a musculatura das vísceras, do coração, até a musculatura da perna, do braço etc. — depende também do citoesqueleto, principalmente dos microfilamentos.
4. As células que revestem a cavidade da traquéia são intensamente ciliadas, e o batimento desses cílios, associado à grande produção de muco que ocorre nessa região, impede que partículas estranhas e mesmo bactérias inaladas com o ar atinjam os pulmões. Neste caso, os cílios batem no sentido de conduzir esses elementos estranhos, juntamente com o muco, para fora do nosso corpo.

- Pense um pouco e veja se você consegue citar mais um exemplo.
- Como trabalho de grupo, reúna todos os dados deste capítulo e monte um modelo de célula animal com ribossomos, centríolos e organelas membranosas. Para construir esse modelo você pode usar cartolina e desenhos, mas também pode fazê-lo com massa de modelar de diferentes cores, representando a célula vista em corte para que possam ser mostradas as diferentes estruturas. Discuta com seus colegas os modelos que foram feitos, analisando as diferenças encontradas em relação à representação das estruturas citoplasmáticas.



TESTES

1. (UFRS) Tanto em uma célula eucarionte quanto em uma procarionte podemos encontrar:

- a) membrana plasmática e retículo endoplasmático.
- b) ribossomos e aparelho de Golgi.
- c) mitocôndrias e nucléolo.
- d) mitocôndrias e centríolos.
- e) membrana plasmática e ribossomos.

2. (UFPR) A *Escherichia coli* não possui nenhuma membrana nuclear, tem as enzimas do processo respiratório em dobras da membrana plasmática e não possui as estruturas celulares mais conhecidas. Isso faz com que seja classificada como:

- a) célula procariota.
- b) célula eucariota.
- c) protozoário.
- d) metazoário.
- e) vírus.

3. (UFPI) Que processo provavelmente estaria ocorrendo, em grande extensão, em células com grande quantidade de retículo endoplasmático granular (rugoso)?

- a) Síntese e exportação de proteínas.
- b) Secreção de hormônios.
- c) Absorção de proteínas.
- d) Secreção de esteróides.
- e) Digestão intracelular.

4. (UEM-PR) Os itens de I a VII, abaixo, referem-se a componentes da célula.

- I — Retículo endoplasmático.
- II — Membrana plasmática.
- III — Mitocôndrias.
- IV — Parede celular.
- V — Plastos.
- VI — Centríolos.
- VII — Aparelho de Golgi.

Considerando-se **A** a célula vegetal e **B** a célula animal, indique o que for correto.

- 01. I está presente em **A** e em **B**.
- 02. II está presente em **A** e ausente em **B**.
- 04. III está presente em **A** e ausente em **B**.
- 08. IV está presente em **A** e ausente em **B**.
- 16. V está presente em **A** e ausente em **B**.
- 32. VI está presente em **A** e ausente em **B**.
- 64. VII está presente em **A** e em **B**.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

5. (UFSM-RS) Chama-se citoesqueleto a rede de proteínas filamentosas envolvidas em dar forma e movimento à célula. Não estão relacionados com o citoesqueleto:

- a) microtúbulos e microfilamentos.
- b) cílios e flagelos.
- c) ciclose e movimentos amebóides.
- d) peroxissomos e mitocôndrias.
- e) desmossomos e centríolos.

6. (Fuvest-SP) Está presente na célula bacteriana:

- a) aparelho de Golgi.
- b) carioteca.
- c) mitocôndria.
- d) retículo endoplasmático.
- e) ribossomo.

7. (UFMS) Com relação ao retículo endoplasmático das células, é correto afirmar que:

- 01. trata-se de uma estrutura citoplasmática formada basicamente por pequenos vacúolos e canalículos.
- 02. uma de suas funções é o transporte de substâncias.
- 04. trata-se de uma estrutura própria de células eucariotas.
- 08. é formado por membranas lipoprotéicas.
- 16. possui dois tipos de sistema: o retículo endoplasmático liso e o rugoso (ou granular).
- 32. é uma estrutura própria de células procariotas.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

8. (Unesp-SP) Se fôssemos comparar a organização e o funcionamento de uma célula eucarionte com o que ocorre em uma cidade, poderíamos estabelecer determinadas analogias. Por exemplo, a membrana plasmática seria o perímetro urbano e o hialoplasma corresponderia ao espaço ocupado pelos edifícios, ruas e casas com seus habitantes. O quadro reúne algumas similaridades funcionais entre cidade e célula eucarionte.

Cidade	Célula eucarionte
I. Ruas e avenidas	1. Mitocôndrias
II. Silos e armazéns	2. Lisossomos
III. Central elétrica (energética)	3. Retículo endoplasmático
IV. Casas com aquecimento solar	4. Complexo de Golgi
V. Restaurantes e lanchonetes	5. Cloroplastos

Correlacione os locais da cidade com as principais funções correspondentes às organelas celulares e indique a alternativa correta:

- a) I-3, II-4, III-1, IV-5 e V-2.
- b) I-4, II-3, III-2, IV-5 e V-1.
- c) I-3, II-4, III-5, IV-1 e V-2.
- d) I-1, II-2, III-3, IV-4 e V-5.
- e) I-5, II-4, III-1, IV-3 e V-2.



QUESTÕES DISCURSIVAS

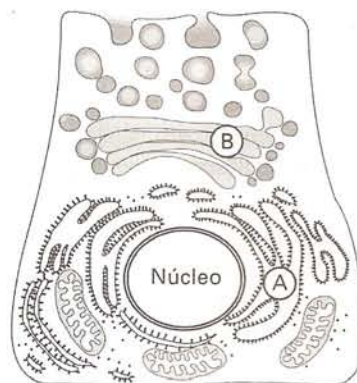
1. (Unicamp-SP — mod.) Considere as características das células A, B e C indicadas na tabela a seguir, relacionadas à presença (+) ou ausência (–) de alguns componentes, e responda:

CÉLULA	COMPONENTES CELULARES					
	Parede celular	Envoltório nuclear	Ribossomos	Complexo de Golgi	Mitocôndrias	Cloroplastos
A	–	+	+	+	+	–
B	+	+	+	+	+	+
C	+	–	+	–	–	–

- Quais das células A, B e C são eucarióticas e quais são procarióticas?
- Qual célula (A, B ou C) é característica de cada um dos seguintes reinos: Monera, Animal e Vegetal? Que componentes celulares presentes ou ausentes os diferenciam?

2. (Fuvest-SP) O esquema ao lado representa uma célula secretora de enzimas em que duas estruturas citoplasmáticas estão indicadas por letras (A e B). Aminoácidos radioativos incorporados por essa célula concentram-se inicialmente na região A. Após algum tempo, a radioatividade passa a se concentrar na região B e, pouco mais tarde, pode ser detectada fora da célula.

- Explique, em termos funcionais, a concentração inicial de aminoácidos radioativos na estrutura celular A.
- Como se explica a detecção da radioatividade na estrutura B e, em seguida, fora da célula?

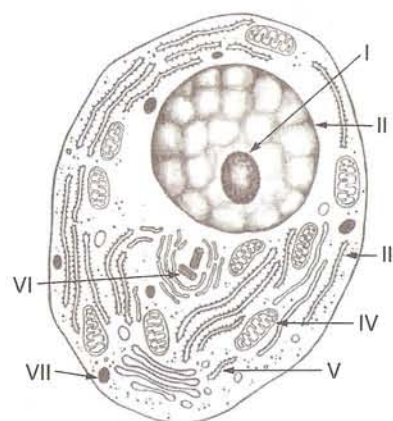


3. (UFOP-MG — mod.) O esquema ao lado representa uma célula.

- Podemos afirmar que o esquema não corresponde a uma célula vegetal porque nele não estão representados ... e ...
- Cite o nome de um grupo de seres vivos em que todos os representantes não possuem a estrutura II.
- Cite o grupo de seres vivos que não possui nenhuma das estruturas indicadas.
- Cite o tipo de ácido nucléico encontrado na estrutura I.
- As hemácias não se multiplicam e não realizam oxidação aeróbica de glicose porque não possuem as organelas, ... e ..., respectivamente.
- Leia o trecho:

“A inalação de fibras de sílica provoca deficiência respiratória, muito frequente em trabalhadores de minas e pedreiras. Nos pulmões, as partículas de sílica são fagocitadas por macrófagos e englobadas pela organela citoplasmática VII. As fibras não são destruídas e provocam o rompimento da membrana dessa organela, desencadeando a destruição de células com conseqüente formação de áreas de fibrose nos pulmões, acarretando tal insuficiência”.

Cite o nome da organela VII envolvida no processo.



4. (UFPB) Os microtúbulos são polímeros formados por várias unidades de tubulina, uma proteína globular existente nas células eucarióticas. Cite duas estruturas celulares formadas pelos microtúbulos e suas respectivas funções.

5. (Unesp-SP — mod.) Um aluno, após ter estudado a organização celular de seres eucariontes e procariontes, elaborou um quadro indicando com sinais (+) e (-), respectivamente, a presença ou ausência da estrutura em cada tipo de célula.

ESTRUTURA CELULAR	SERES PROCARIONTES	SERES EUCARIONTES	
		Animais	Vegetais superiores
Membrana plasmática	-	+	+
Parede celular	+	-	+
Complexo de Golgi	-	-	+
Centríolos	-	+	+
Ribossomos	+	+	+
Plastos	-	-	+
Carioteca	-	+	+
Mitocôndrias	-	+	-

a) O aluno, ao construir o quadro, cometeu quatro erros. Quais foram os erros cometidos?

b) A permeabilidade seletiva está relacionada a qual estrutura do quadro?

6. (Fuvest-SP) Descreva como se processa a digestão do material englobado pela célula por fagocitose e pinocitose.

7. (UFPB) As organelas celulares **retículo endoplasmático liso**, **retículo endoplasmático rugoso**, **complexo de Golgi**, **lisossomos**, **peroxissomos** e **mitocôndrias** são encontradas em células eucariontes em quantidades variáveis, de acordo com a fisiologia dos diferentes tipos celulares. Considerando essas informações:

a) escolha duas das organelas citadas, exemplificando, para cada uma, um tipo de célula em que seja abundante;

b) relacione as organelas escolhidas no item a com a fisiologia das células exemplificadas.

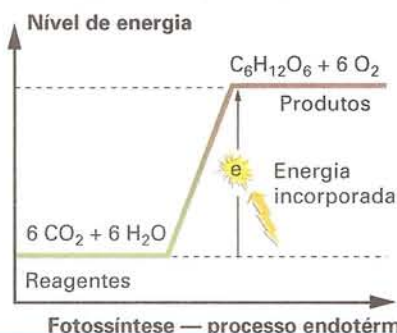
Metabolismo energético das células

1. Introdução

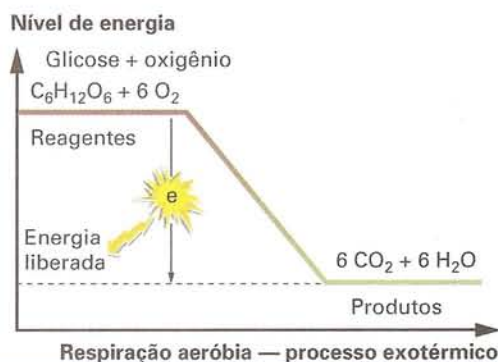
Nas reações químicas, **moléculas reagentes** interagem entre si e se transformam em outras moléculas, denominadas **produtos**.

Existem reações químicas que, para ocorrer, precisam receber energia. Elas são chamadas **endotérmicas**. Nesses casos, os reagentes têm menos energia do que os produtos. A fotossíntese e a quimiossíntese são processos endotérmicos.

Outras reações, no entanto, liberam energia. Elas são chamadas **exotérmicas**. Nessas reações, os reagentes possuem mais energia do que os produtos, e parte da energia dos reagentes é liberada na forma de calor. A respiração e a fermentação são processos exotérmicos.



A síntese de glicose a partir de CO_2 e H_2O só pode ser realizada com a incorporação de energia, uma vez que os reagentes desse processo têm menor nível de energia do que os produtos.

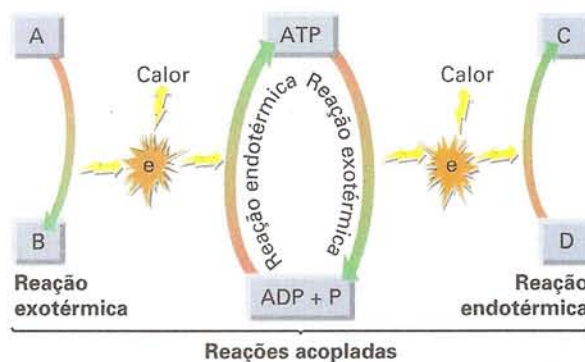


Na quebra da molécula de glicose há liberação de parte da energia contida nas ligações químicas, originando moléculas de menor nível energético. No caso da respiração aeróbica, os produtos desse processo são o gás carbônico e a água.

Nas células, uma reação exotérmica libera parte da energia sob a forma de calor e parte para promover reações endotérmicas. Essa utilização só é possível por meio de um mecanismo conhecido como **acoplamento de reações**, em que uma substância comum “dirige” esse aproveitamento de energia, havendo pouca liberação de calor.

Essa substância comum é principalmente o **trifosfato de adenosina**, ou **adenosina trifosfato**, cuja abreviação é **ATP**. Esse composto armazena, em suas ligações-fosfato, grande parte da energia despreendida pelas reações exotérmicas e tem a capacidade de liberar, por hidrólise, essa energia armazenada para promover reações endotérmicas. O ATP funciona dentro da célula como uma “moeda energética”, que pode ser gasta em qualquer momento que a célula necessitar.

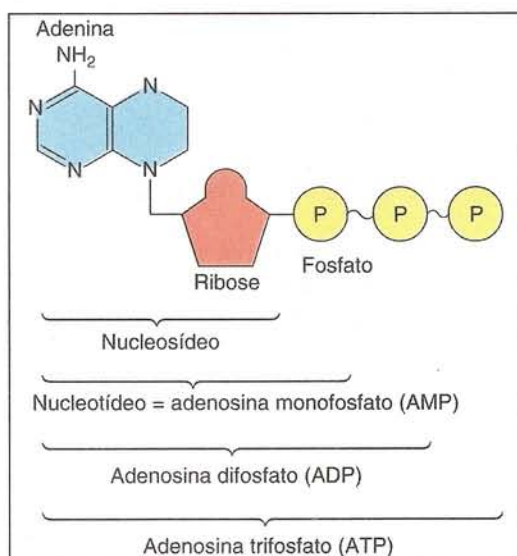
Pode-se esquematizar a atuação do ATP da seguinte forma:



Esquema de reações acopladas.

O ATP é um nucleotídeo formado por uma molécula de adenina (base nitrogenada), uma molécula do açúcar ribose e três moléculas de fosfato (representado por **P**). O conjunto adenina + ribose forma a **adenosina**, que, ligada a uma molécula de fosfato, forma a **adenosina monofosfato (AMP)**. Com a adição de mais um fosfato, forma-se a **adenosina difosfato (ADP)**; e com a adição do terceiro

fosfato, forma-se finalmente a **adenosina trifosfato (ATP)**.



Estrutura simplificada de molécula de ATP. (Cores-fantasia.)

Para entender a importância das reações acopladas nas células e da função do ATP, vamos comparar a combustão não-biológica (que não ocorre nas células) com a combustão biológica da glicose (que ocorre na respiração).

Na combustão não-biológica, a energia é liberada de uma só vez, sob a forma de calor. Este é tão intenso que, se ocorresse na célula, poderia matá-la. Na combustão biológica, a energia armazenada nas ligações químicas é liberada de modo gradativo e utilizada na síntese de ATP. Neste caso também há liberação de calor, mas em menor quantidade. Havendo necessidade, o ATP é hidrolisado e a energia liberada é utilizada para promover movimentos e reações metabólicas das células.

2. Fotossíntese

A fotossíntese é o principal processo autotrófico e é realizada pelos seres clorofilados, representados por plantas, alguns protistas, bactérias fotossintetizantes e cianobactérias.

Na fotossíntese realizada pelos seres fotossintetizantes, com exceção das bactérias, gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) são usados para a síntese de carboidratos, geralmente a glicose. Nesse processo há formação de oxigênio (O_2), que é liberado para o meio.

A fotossíntese realizada pelas bactérias fotossintetizantes difere em muitos aspectos da realizada pelos demais organismos fotossintetizantes, como veremos a seguir.

A fórmula geral da produção de glicose pela fotossíntese dos eucariontes e cianobactérias é:



Essa equação mostra que, na presença de luz e clorofila, o gás carbônico e a água são convertidos numa hexose — neste exemplo, a glicose —, havendo liberação de oxigênio.

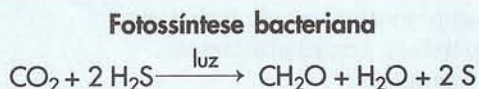
Os seres fotossintetizantes são fundamentais para a manutenção da vida em nosso planeta, pois são a base da maior parte das cadeias alimentares e produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera em concentrações adequadas graças principalmente à atividade fotossintética.

Origem do oxigênio e fotossíntese bacteriana

O oxigênio liberado pela fotossíntese realizada pelos eucariontes e pelas cianobactérias provém da água, e não do gás carbônico, como se pensava antigamente.

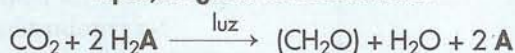
O primeiro pesquisador a propor isso foi **Cornelius van Niel**, na década de 1930, quando estudava bactérias fotossintetizantes. Ele verificou que as bactérias vermelhas sulfurosas (ou tiobactérias púrpuras) realizavam uma forma particular de fotossíntese em que não havia necessidade de água nem formação de oxigênio. Essas bactérias usam gás carbônico e sulfeto de hidrogênio (H_2S) e produzem carboidrato e enxofre.

Van Niel escreveu, então, a fórmula geral da fotossíntese realizada por essas bactérias:



Foi a compreensão desse processo de fotossíntese que levou o pesquisador a propor a equação geral da fotossíntese:

Equação geral da fotossíntese



Essa equação mostra que H_2A pode ser a água (H_2O) ou o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e evidencia que, se for água, ela é a fonte de oxigênio na fotossíntese.

Essa interpretação foi confirmada posteriormente, na década de 1940, por experimentos em que pesquisadores forneciam às plantas água cujo oxigênio era de massa 18 (O^{18} , isótopo pesado do oxigênio) em vez de 16 (O^{16}), como o oxigênio da água comum. Eles verificaram que o oxigênio liberado pela fotossíntese era O^{18} , corroborando a interpretação de Van Niel.

Ficou comprovado, então, que o oxigênio liberado durante a fotossíntese dos eucariontes e das cianobactérias provém da água, e não do gás carbônico.

2.1. Luz e pigmentos fotossintetizantes

A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de pigmentos especializados que conseguem captar a energia luminosa.

A radiação solar é composta de vários comprimentos de onda. Dentre eles, o olho humano só consegue distinguir os que compõem a luz visível ou luz branca.

Ao passar por um prisma, a luz branca é decomposta em sete cores, cada uma abrangendo determinados comprimentos de onda, como mostra a figura ao lado.

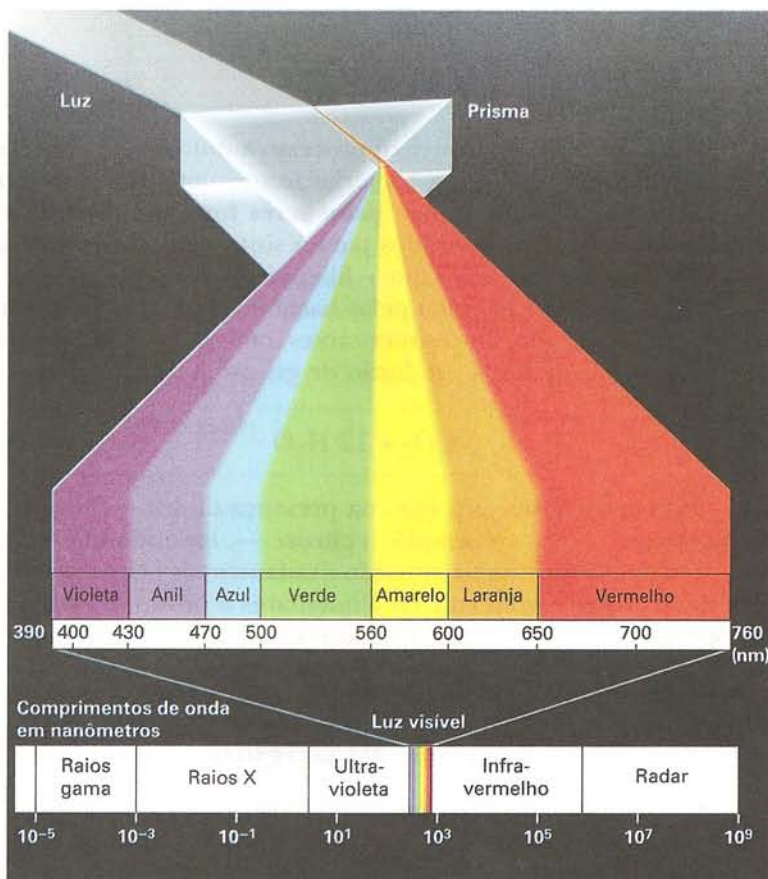
Os pigmentos têm a propriedade de absorver apenas determinados comprimentos de onda, refletindo os demais. A cor do pigmento é determinada pelo comprimento de onda refletido.

Para ocorrer fotossíntese, é necessária a presença de clorofila, que é um pigmento verde. A clorofila reflete a luz verde e absorve com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha, nos quais a fotossíntese é mais intensa.

Existem vários tipos de clorofila, que diferem ligeiramente entre si e absorvem a luz de modo mais eficiente em diferentes comprimentos de onda dentro do espectro das radiações azul e vermelha.

Os principais tipos de clorofila são:

- **clorofila a** — ocorre nas cianobactérias e em todos os eucariontes fotossintetizantes;
- **clorofila b** — ocorre em todas as plantas e nas algas verdes;
- **clorofila c** — ocorre nas algas pardas e nas diatomáceas;
- **clorofila d** — ocorre nas algas vermelhas;
- **bacterioclorofila** — ocorre em bactérias fotossintetizantes, como as tiobactérias púrpuras.



Representação do espectro de cores da luz ao passar por um prisma.

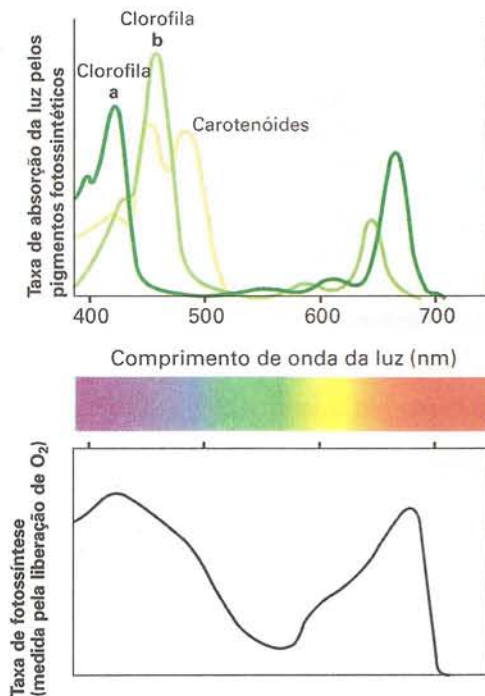
Além das clorofilas, existem outros pigmentos envolvidos na absorção de luz durante a fotossíntese. Entre eles estão as **ficobilinas**, encontradas nas cianobactérias e em algas vermelhas, e os **carotenóides**, representados pelos **carotenos** e pelas **xantofilas**, que ocorrem nas plantas.

Nos organismos eucariontes, os pigmentos fotossintetizantes ficam no interior de organelas citoplasmáticas denominadas cloroplastos.

Nos procariontes fotossintetizantes, os pigmentos localizam-se em membranas internas, organizadas em lamelas concêntricas ou em pequenas vesículas esféricas, mas que nunca chegam a formar plastos.

Neste livro nos deteremos no estudo geral da fotossíntese realizada pelas plantas.

Colocando-se em um gráfico os diferentes comprimentos de onda em função da taxa em que se processa a fotossíntese, obtém-se o espectro de ação da luz na fotossíntese. Esse espectro pode ser comparado ao de absorção da luz pelos diferentes tipos de pigmentos. Contrapondo-se os dois tipos de gráficos, pode-se verificar que as clorofilas são os pigmentos mais importantes para a fotossíntese. São elas que conseguem absorver com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha, nos quais a fotossíntese é mais intensa.

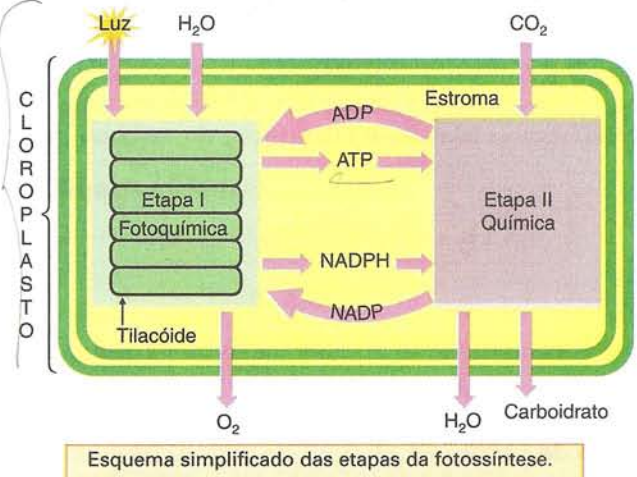


2.2. As etapas da fotossíntese

Apesar de ser apresentada em apenas uma equação, a fotossíntese não ocorre em apenas uma reação química. Existem várias reações que podem

ser agrupadas em duas etapas interligadas: a primeira, **fotoquímica**, em que há necessidade de energia luminosa, e a segunda, **química**, na qual não há necessidade de luz, mas sim dos produtos formados na fase fotoquímica. As reações que ocorrem na etapa fotoquímica são chamadas **reações de claro** e as que ocorrem na etapa química, **reações de escuro**.

A etapa fotoquímica ocorre nos tilacóides e a etapa química ocorre no estroma dos cloroplastos.



Etapa fotoquímica

Na etapa fotoquímica da fotossíntese acontecem dois conjuntos básicos e inter-relacionados de reações: a fotofosforilação e a fotólise da água.

Fotofosforilação significa adição de fosfato (**fosforilação**) em presença de luz (**foto**).

Nesse processo, a energia luminosa captada pela clorofila é transferida sob a forma de energia química para moléculas de ATP (adenosina trifosfato ou trifosfato de adenosina). Essa energia pode ser utilizada para promover outras reações, como as que ocorrem na etapa química.

Pode-se escrever a equação simplificada da fotofosforilação do seguinte modo:

Equação simplificada da fotofosforilação



Na **fotólise da água** ocorre quebra de moléculas de água sob a ação da luz, com a participação de enzimas localizadas nos tilacóides. Nessa quebra há liberação do oxigênio para o ambiente e transferência do hidrogênio para substâncias receptoras denominadas **NADP** (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), originando a **NADPH₂**.

Pode-se escrever a equação simplificada da fotólise da água do seguinte modo:

Equação simplificada da fotólise da água



PRODUTOS DA ETAPA FOTOQUÍMICA (FOTOFOSFORILAÇÃO + FOTÓLISE DA ÁGUA)

- O_2 , que é liberado pela planta para o ambiente;
- $NADPH_2$ e ATP, que serão usados na etapa seguinte, a etapa química.

Etapa química

A etapa química da fotossíntese ocorre no estroma dos cloroplastos, sem necessidade direta da luz.

Nela há participação do CO_2 , que recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de $NADPH_2$ provenientes da fotólise da água. Há formação de carboidratos, falando-se em **fixação do carbono**, pois

este elemento, presente no ambiente abiótico, passa a integrar as substâncias orgânicas do corpo dos seres vivos.

Há várias reações químicas envolvidas nesse processo, as quais se realizam graças à energia fornecida pelo ATP produzido na fase clara. Essas reações compõem o **ciclo das pentoses**, também conhecido por **ciclo de Calvin**, em homenagem ao cientista Melvin Calvin (1911-1997), que o elucidou, tendo recebido em função disso o Prêmio Nobel de Química em 1961. Esse ciclo também é conhecido por **ciclo de Calvin-Benson** em função da participação de Adam Benson na descoberta desse processo.

A equação simplificada dessa fase pode ser assim escrita:

Equação simplificada do ciclo de Calvin



Resumo das duas etapas

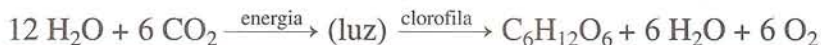
Considerando as duas etapas da fotossíntese e as equações gerais apresentadas, obtém-se o seguinte:

Fotofosforilação: $18 ADP + 18 P \longrightarrow 18 ATP$

Fotólise da água: $12 H_2O + 12 NADP \longrightarrow 12 NADPH_2 + 6 O_2$

Ciclo de Calvin: $6 CO_2 + 12 NADPH_2 + 18 ATP \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 12 NADP + 18 ADP + 18 P + 6 H_2O$

Somando essas três equações, cancelam-se os reagentes e os produtos que são iguais, como destacamos em cor. Os reagentes e produtos que não foram cancelados comporão a equação geral da formação da glicose na fotossíntese.



Embora nas equações resumidas a glicose seja normalmente representada como um produto da fotossíntese, na realidade pouca glicose livre é gerada nas células fotossintetizantes. A maior parte do carbono fixado é convertido em sacarose, o principal açúcar de transporte das plantas, ou em amido, o principal carboidrato de reserva das plantas.

O produto imediato do ciclo de Calvin é na realidade um carboidrato de três carbonos (triose), que origina glicose e frutose, as quais têm seis carbonos. Várias moléculas de glicose se unem e formam o amido, ou então uma molécula de glicose se une a uma de frutose originando o dissacarídeo sacarose.

Os destinos do açúcar produzido na fotossíntese

O açúcar produzido na fotossíntese suplementa a planta com energia química e carbono para sintetizar as principais moléculas orgânicas das células.

Cerca de 50% da matéria orgânica produzida pela fotossíntese é consumida nas mitocôndrias pela respiração celular. O restante segue outros caminhos.

As partes verdes das plantas, representadas principalmente pelas folhas, são as únicas capazes de realizar fotossíntese. Grande parte das moléculas de carboidrato sintetizadas nas folhas são transportadas para a planta toda sob a forma de sacarose. Assim que chega a uma célula não-fotossintética, a sacarose é degradada e utilizada na respiração; a energia liberada é empregada em grande variedade de reações, que sintetizam proteínas, lipídios e outros produtos.

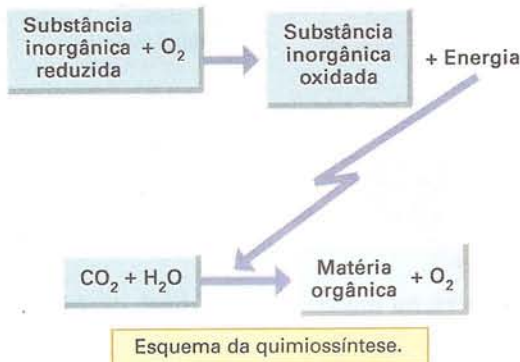
Quantidades consideráveis de glicose unem-se formando o polissacarídeo celulose, especialmente nas células que ainda estão em crescimento.

A maioria das plantas geralmente produz mais matéria orgânica do que necessita para todas as suas atividades metabólicas. Esse excesso é estocado sob a forma de amido, que pode ficar armazenado em células de reserva situadas em raízes, tubérculos e frutos.

Em escala global, a produtividade do minúsculo cloroplasto é prodigiosa — estima-se que a fotossíntese produza cerca de 160 bilhões de toneladas de carboidrato por ano. Nenhum outro processo químico tem tal rendimento!

3. Quimiossíntese

A quimiossíntese é um processo em que a energia utilizada na formação de compostos orgânicos, a partir de gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), provém da oxidação de substâncias inorgânicas.

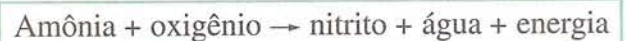


A quimiossíntese é realizada por algumas bactérias que, por isso, são chamadas **bactérias quimiossintetizantes**.

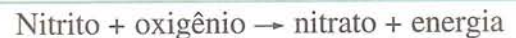
Os principais exemplos de bactérias quimiossintetizantes são:

- **ferrobactérias** — utilizam a energia química proveniente da oxidação de compostos de ferro para a síntese de matéria orgânica;
- **nitrobactérias** — utilizam a energia química proveniente da oxidação de amônia (NH_2) ou de nitritos (NO_2) para a síntese de matéria orgânica. As nitrobactérias ou bactérias nitrificantes existem livres no solo e são de grande importância no ciclo do nitrogênio, como será estudado em Ecologia.

As nitrobactérias *Nitrosomonas* transformam a amônia (NH_3) em nitrito (NO_2).



As nitrobactérias *Nitrobacter* transformam o nitrito em nitrato (NO_3), que pode ser aproveitado pelas plantas como fonte de nitrogênio para a síntese de suas proteínas.



4. Respiração aeróbia

A palavra **respiração**, quando se fala de mecanismos intracelulares, é empregada em todo processo de síntese de ATP que envolve a cadeia respiratória.

São dois os tipos de respiração:

- a **aeróbia**, em que o aceptor final de hidrogênios na cadeia respiratória é o oxigênio;
- a **anaeróbia**, em que o aceptor final de hidrogênios na cadeia respiratória não é o oxigênio, mas outra substância, como o sulfato, o nitrato e outras.

A respiração aeróbia é realizada por muitos procariontes, protistas, fungos e pelas plantas e animais.

Estudaremos as reações que ocorrem na res-

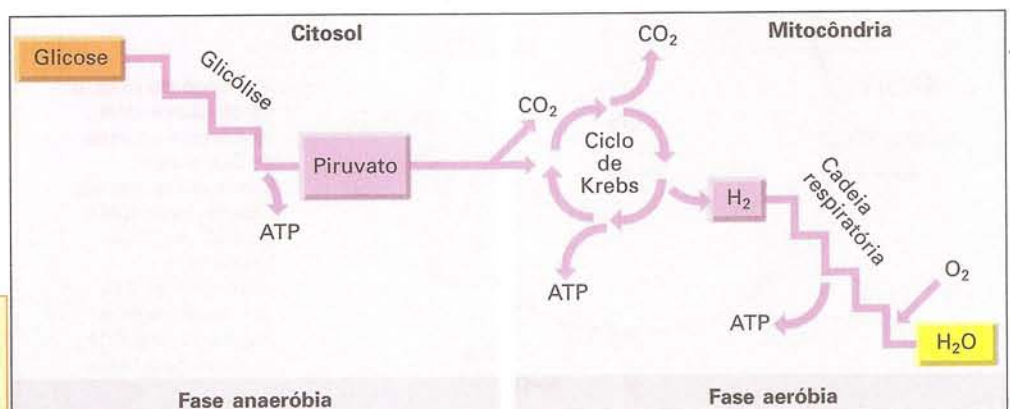
piração considerando a glicose como matéria orgânica a ser degradada.

Pode-se considerar a respiração como um processo realizado em três etapas integradas: **glicólise**, **ciclo de Krebs** e **cadeia respiratória**.

A glicólise não depende do oxigênio para ocorrer, mas as duas outras etapas, sim.

Nos procariontes, a glicólise e o ciclo de Krebs ocorrem no citoplasma, e a cadeia respiratória ocorre associada à face da membrana plasmática voltada para o citoplasma. Já nos eucariontes, a glicólise ocorre no citosol, e o ciclo de Krebs e a cadeia respiratória dão-se no interior das mitocôndrias, organelas ausentes nos procariontes.

Esquema simplificado das etapas da respiração aeróbia em célula eucariótica, a partir da glicose.

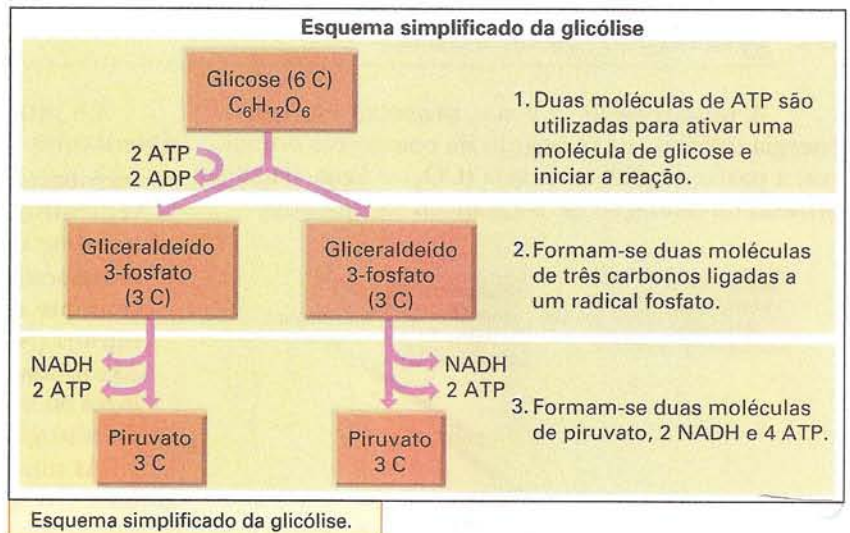


4.1. Glicólise

Na glicólise, cada molécula de glicose é desdobrada em duas moléculas de **piruvato** (**ácido pirúvico**), com liberação de hidrogênio e energia, por meio de várias reações químicas.

O hidrogênio une-se a moléculas transportadoras de hidrogênio (NAD), formando NADH. A energia liberada é usada para a síntese de ATP, resultando, no final do processo, um saldo de 2 ATPs.

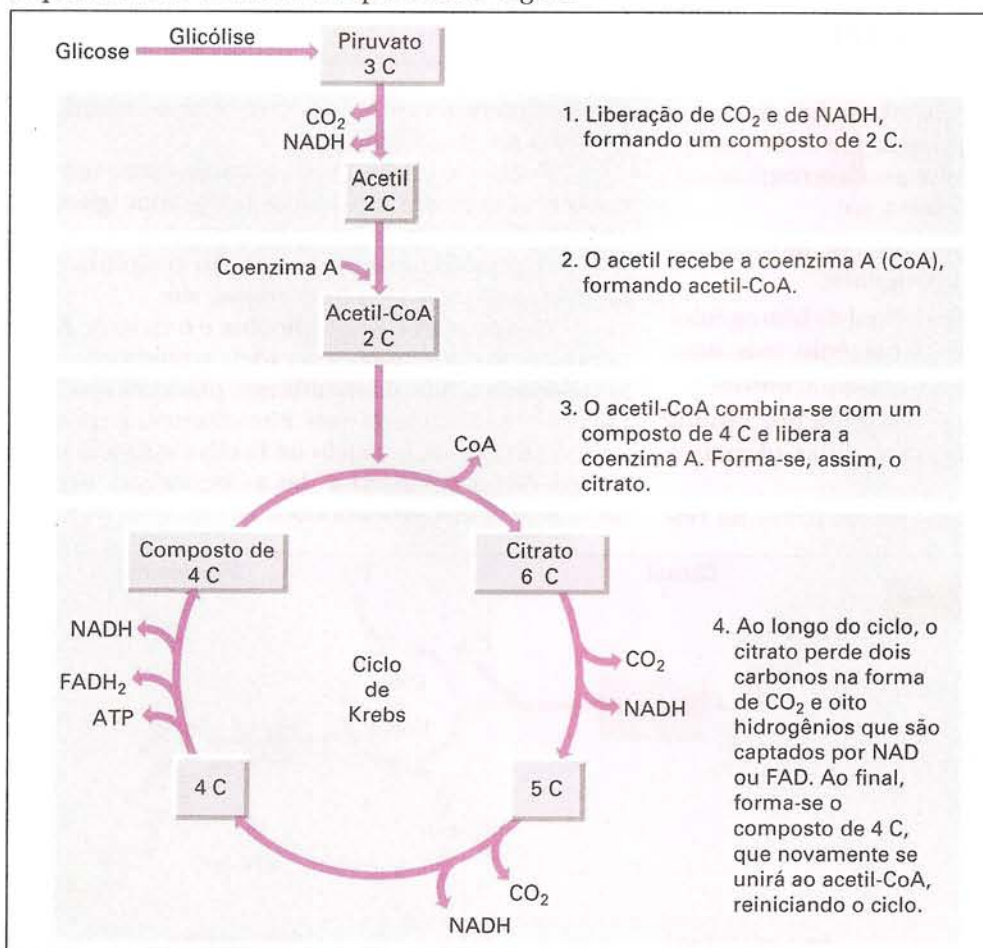
O piruvato formado na glicólise entra, então, na mitocôndria, onde se iniciam as seqüências de reações que dependem do oxigênio: ciclo de Krebs, que ocorre na matriz mitocondrial, e cadeia respiratória, que ocorre nas cristas mitocondriais.



4.2. Ciclo de Krebs

Esse ciclo foi elucidado por Hans Adolf **Krebs**, que, em função disso, recebeu o Prêmio Nobel de Fisiologia em 1953.

O ciclo de Krebs é também chamado **ciclo do ácido cítrico** ou **ciclo do ácido tricarboxílico** e está esquematizado de forma simplificada a seguir.



Ao penetrar na matriz mitocondrial, o piruvato proveniente da glicólise é transformado em acetil (2 C), havendo liberação de gás carbônico (CO_2) e de hidrogênio (H).

O acetil combina-se com uma substância denominada coenzima A (CoA), formando o **acetil-coenzima A (acetil-CoA)**, que entra no ciclo de Krebs.

Nesse ciclo são liberadas moléculas de CO_2 , de ATP, de NADH e de FADH_2 (FAD — flavina-adenina-dinucleotídeo, transportador de hidrogênio que participa apenas da respiração, juntamente com o NAD).

Todo o gás carbônico liberado na respiração provém da formação de acetil e do ciclo de Krebs.

4.3. Cadeia respiratória

Por meio da cadeia respiratória, que ocorre nas cristas mitocondriais, há transferência dos hidrogênios transportados pelo NAD e pelo FAD para o oxigênio, formando água.

O oxigênio é o aceptor (substância que recebe) final de hidrogênios e participa diretamente apenas da última etapa da cadeia respiratória. Apesar disso, é um reagente fundamental para que a respiração ocorra, pois todas as demais reações da respiração que ocorrem dentro da mitocôndria cessam na sua ausência. Sem oxigênio, alguns organismos e mesmo células do tecido muscular esquelético humano continuam a realizar glicólise, desviando o metabolismo para a fermentação. Portanto, a glicólise não depende do oxigênio para ocorrer, mas o ciclo de Krebs e a cadeia respiratória dependem.

Nas transferências de hidrogênios ao longo da cadeia respiratória, há liberação de elétrons excitados, que vão sendo captados por transportadores intermediários, dentre eles os **citocromos**. Durante essas transferências, os elétrons perdem gradativamente energia, que em parte será utilizada para a formação de ATP (processo chamado **fosforilação oxidativa**) e em parte será liberada sob a forma de calor.

Assim, a função mais importante da cadeia respiratória é a formação de ATP. Para cada molécula de glicose formam-se 34 ATPs nesse processo.

Como o saldo energético da glicólise é de duas moléculas de ATP e o do ciclo de Krebs também, o saldo energético final da respiração na queima de cada molécula de glicose é de 38 moléculas de ATP.

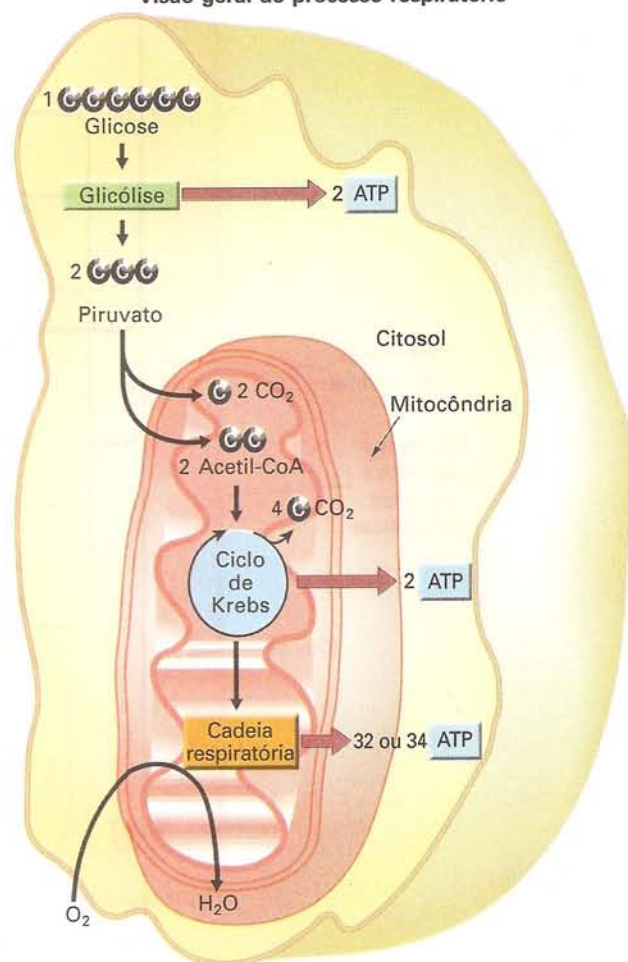
Entretanto, em certas células eucarióticas, como as da musculatura esquelética humana e provavelmente do cérebro de mamíferos, o saldo energético da respiração por molécula de glicose

degradada é de 36 ATPs. Isso ocorre em função de um mecanismo relacionado à entrada do NADH na mitocôndria, em que há gasto de 2 ATPs.

Desse modo, dependendo do tipo de célula eucariótica, o saldo total de ATP na respiração aeróbia pode ser de 36 ou 38 ATPs.

Nos procariontes, como não há mitocôndrias, o processo inteiro da respiração ocorre no citoplasma e na face citoplasmática da membrana celular. Nesse caso, o rendimento energético total da respiração é de 38 moléculas de ATP para cada molécula de glicose degradada.

Visão geral do processo respiratório



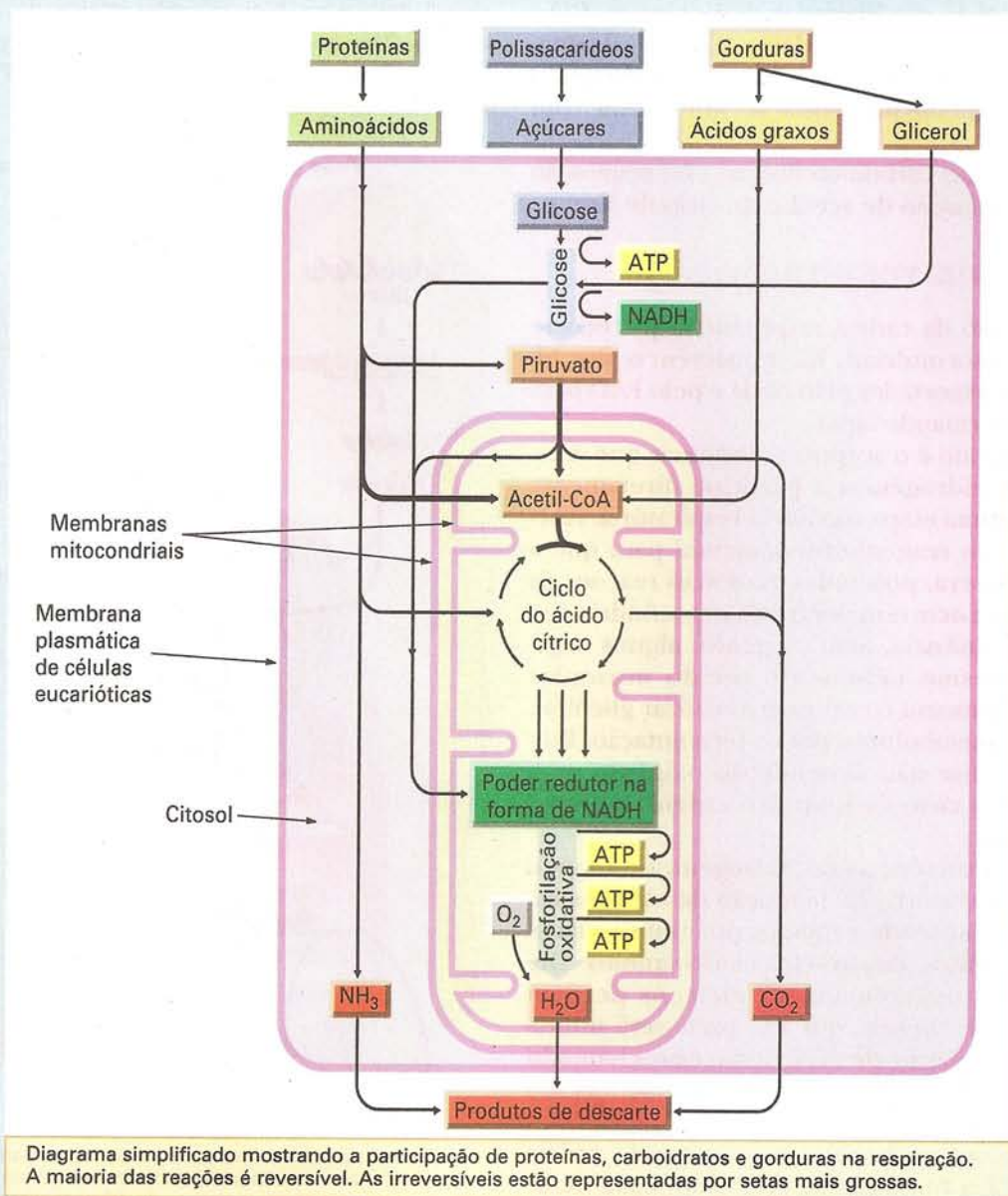
Esquema geral da respiração aeróbia a partir da glicose. Célula representada em corte, com as estruturas fora de proporção. (Cores-fantasia.)

RESUMO DO SALDO EM ATP

Etapa	Saldo em ATP
Glicólise	2
Ciclo de Krebs	2
Cadeia respiratória	32 ou 34
Total	36 ou 38

O catabolismo de outras moléculas

Ao longo deste capítulo vimos que a glicose é usada como combustível para a respiração celular. Entretanto, proteínas e gorduras também podem participar desse processo, como mostra de forma simplificada o esquema a seguir:



A digestão dos carboidratos no sistema digestório dos seres humanos produz vários tipos de monossacarídeos, dentre eles a glicose. Depois que ocorre a absorção, as células recebem esses monossacarídeos.

Parte da glicose entra no processo de respiração celular e parte fica armazenada nas células sob a forma de polissacarídeos, como é o caso do glicogênio, armazenado principalmente nas células do fígado e dos músculos. Quando necessário, as células quebram esse glicogênio em moléculas de glicose, que participam da glicólise.

As proteínas também podem ser usadas na respiração como fonte de energia. Após a digestão no sistema digestório, formam-se várias moléculas de aminoácidos, que depois de absorvidos são levados até as células e usados para sintetizar outras proteínas. Os aminoácidos em excesso são convertidos por ação enzimática em piruvato ou em produtos intermediários do ciclo de Krebs.

Em todos os casos, antes de o aminoácido entrar na respiração sempre ocorre a remoção do grupo amina (NH_3), processo denominado **desaminação**.

Esse grupo amina é eliminado do corpo como componente da urina, sob a forma de excreta nitrogenada: uréia, amônia ou ácido úrico.

As gorduras, após a digestão, são transformadas em ácidos graxos e glicerol. Depois que ocorre a absorção, o glicerol é convertido em um produto intermediário da glicólise e entra no processo de respiração. Os ácidos graxos podem ser quebrados pela ação de enzimas dos peroxissomos e formar uma substância que entra no ciclo de Krebs.

A “queima” de gordura na respiração produz mais energia do que a “queima” de outras substâncias. Por exemplo, 1 grama de gordura na respiração produz mais ATP do que 1 grama de carboidrato ou de proteína.

Com base na figura anterior e analisando as reações reversíveis e as irreversíveis, é possível notar que:

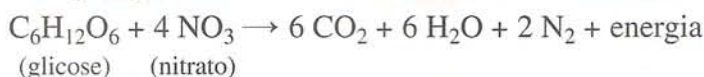
- as proteínas ingeridas na alimentação podem ser convertidas em carboidratos e ácidos graxos;
- os carboidratos podem ser convertidos em ácidos graxos;
- os ácidos graxos não podem ser transformados em nenhum dos outros nutrientes.

Esses dados reforçam a importância das proteínas na alimentação. As células não conseguem armazenar proteínas como substância de reserva, embora consigam armazenar carboidratos ou lipídios, utilizando-os quando necessário. Além disso, as proteínas precisam ser ingeridas como fonte de aminoácidos para a síntese protéica.

5. Respiração anaeróbia

Realizam respiração anaeróbia as bactérias desnitrificantes do solo, como a *Pseudomonas denitrificans*. Elas participam do ciclo do nitrogênio, devolvendo à atmosfera o N_2 . Como só realizam esse processo na ausência de O_2 , a desnitrificação não é um mecanismo muito freqüente em solos oxigenados, mas é muito comum em regiões pantanosas onde a taxa de O_2 é reduzida.

Respiração anaeróbia em bactéria desnitrificante



6. Fermentação

A **fermentação** é um processo anaeróbio de síntese de ATP que ocorre na ausência de oxigênio e que não envolve cadeia respiratória. Na fermentação, o aceptor final de hidrogênios é um composto orgânico.

Os seres anaeróbios podem ser estritos ou facultativos.

Os **estritos** são os que só realizam um dos dois processos anaeróbios. Por exemplo: algumas bactérias realizam só a fermentação, enquanto outras realizam só a respiração anaeróbia. Aliás, o oxigênio é letal para as bactérias anaeróbias, que só ocor-

rem em ambientes muito particulares, como solos profundos e regiões onde o teor de O_2 é praticamente zero. É o caso do bacilo do tétano (*Clostridium tetani*).

Os **facultativos** realizam a fermentação na ausência de oxigênio e a respiração aeróbia na presença desse gás. É o caso de certos fungos, como *Saccharomyces cerevisiae*, e de muitas bactérias.

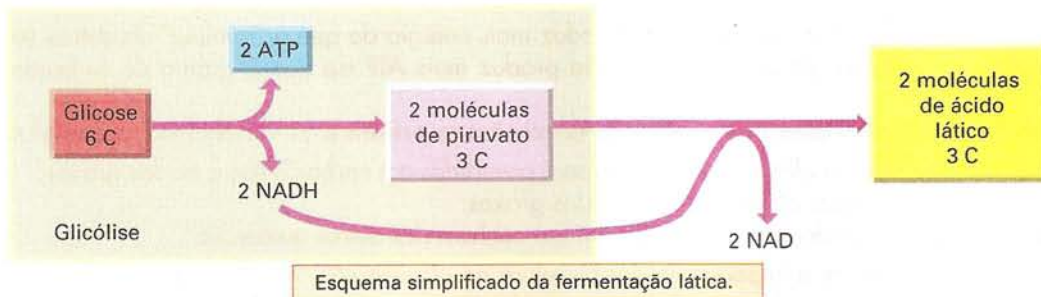
Na fermentação, a glicose é degradada parcialmente, na ausência de oxigênio, em substâncias orgânicas mais simples, como o **ácido láctico** (**fermentação láctica**) e o **álcool etílico** (**fermentação alcoólica**).

Nesses processos, há um saldo de apenas 2 moléculas de ATP por molécula de glicose degradada. Portanto, o ganho energético é maior na respiração do que na fermentação.

A fermentação ocorre no citosol. Inicialmente ocorre a glicólise, em que a molécula de glicose é degradada em duas moléculas de piruvato, cada uma com três carbonos, com saldo de 2 ATPs. Essa etapa é comum tanto para a fermentação como para a respiração.

6.1. Fermentação láctica

Na fermentação láctica, o piruvato é transformado em ácido láctico pela utilização de íons hidrogênio transportados pelos NADH formados na glicólise.



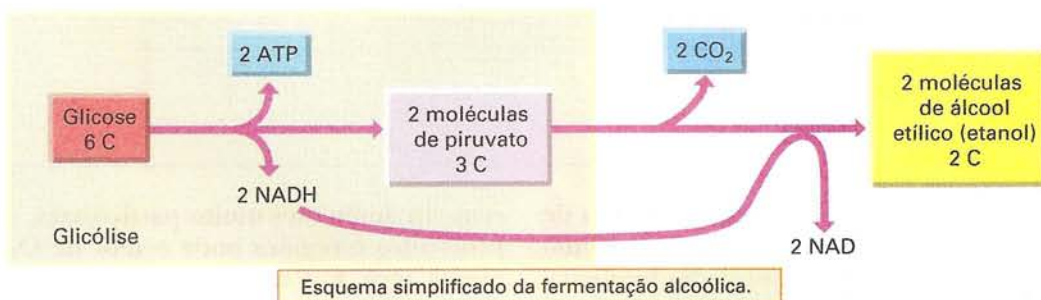
A fermentação láctica é realizada por algumas bactérias, alguns protozoários e fungos e por células do tecido muscular humano.

Quando uma pessoa realiza atividade física muito intensa, há insuficiência de oxigênio para manter a respiração e liberar a energia necessária. Nesses casos, as células degradam anaerobiamente a glicose em ácido láctico. Cessada a atividade física, o ácido láctico formado é transformado novamente em piruvato, que continua a ser degradado pelo processo da respiração.

Outros exemplos de fermentação láctica são o azedamento do leite e a produção de conservas, como picles.

6.2. Fermentação alcoólica

Na fermentação alcoólica, o piruvato libera, inicialmente, uma molécula de CO_2 , formando um composto com dois carbonos que sofre redução pelo NADH, originando álcool etílico.



A fermentação alcoólica ocorre principalmente em bactérias e leveduras. Entre as leveduras, que são fungos microscópicos, a espécie *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada na produção de bebidas alcoólicas. Esse levedo transforma açúcares de sucos de uva e de malte em vinho e cerveja, respectivamente.

O levedo também é empregado para fazer pão. Nesse caso, o CO_2 produzido por fermentação fica armazenado no interior da massa, em pequenas câmaras, fazendo-a crescer. Ao se assar a massa, as paredes dessas câmaras se enrijecem, mantendo a estrutura alveolar.

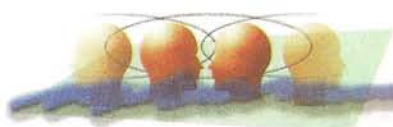


QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Compare a estrutura morfológica de um cloroplasto com a de uma mitocôndria. Em que essas organelas são semelhantes e em que são diferentes?
2. Acredita-se que as mitocôndrias e os cloroplastos sejam descendentes de células procarióticas. Retome seus conhecimentos desde o início do livro e explique como isso deve ter acontecido.
3. Considerando todo o estudo de célula que fizemos até agora, diferencie uma célula de planta de uma célula de animal, levando em conta desde os envoltórios celulares até as organelas citoplasmáticas.
4. Com base nas diferentes etapas da fotossíntese descritas neste capítulo, procure explicar o que de mais importante ocorre durante a fotólise da água, a fotofosforilação e as reações da fase escura da fotossíntese. Em que momento da fotossíntese a clorofila é fundamental?
5. Analise a importância da fotossíntese para a vida em nosso planeta. Em sua análise, pondere sobre o teor de oxigênio do ar atmosférico e sobre a origem da matéria orgânica.
6. Faça um esquema de célula eucariótica mostrando apenas membrana plasmática, citosol, núcleo e uma mitocôndria em corte, de modo a evidenciar sua morfologia interna. Nomeie e localize em seu desenho as etapas da respiração. Depois, compare com o que ocorre na respiração das células procarióticas.
7. Explique a respiração anaeróbia e diga qual grupo de organismos pode apresentar esse tipo de respiração.
8. Diferencie fermentação de respiração.
9. Construa uma tabela como a abaixo e complete-a:

Tipo de fermentação	Produtos finais	Organismos ou células que realizam esse tipo de fermentação

10. Em que região das células ocorre a fermentação?



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Como adquirir um bom condicionamento físico

Você já deve ter ouvido falar que fazer ginástica é saudável e importante para nossa saúde física e mental. Vamos ver fisiologicamente por quê.

Toda ginástica deve ser praticada sob orientação de profissionais capacitados, pois atividade física sem boa orientação pode ser prejudicial à saúde, e não benéfica.

Para melhorar nosso condicionamento físico sem causar danos ao nosso corpo, devemos aumentar gradual e progressivamente a intensidade, a frequência e a duração de uma atividade física. Não devemos iniciar um programa de atividade física fazendo muito esforço de uma só vez.

Com um programa bem-orientado, verifica-se um aumento da capacidade do corpo em utilizar o oxigênio para queimar o glicogênio das células musculares. Com isso, a pessoa vai conseguindo executar a atividade física cada vez com mais eficiência.

Esse aumento na capacidade de utilizar o oxigênio está relacionado principalmente a dois fatores:

1. O coração passa a bombear mais sangue por minuto. Isso é conseguido não só porque o coração bate mais rápido, mas porque há um aumento na quantidade de sangue que é bombeada em cada contração do coração. Pessoas com bom condicionamento físico, quando estão em repouso, apresentam frequência de batimentos cardíacos menor do que a de pessoas que não têm atividade física. Por exemplo, atletas maratonistas apresentam, em média, 45 pulsações por minuto quando em repouso, enquanto a média na população não-treinada é de 70 pulsações por minuto. Essas pessoas bem-treinadas aumentaram, ao longo do tempo, a musculatura cardíaca, que se tornou capaz de bombear mais sangue por minuto. Por causa disso, também, quando estão fazendo atividade física, a pulsação não aumenta tanto quanto a de uma pessoa sedentária que resolva correr sem preparo anterior.

2. Os músculos esqueléticos de uma pessoa treinada são capazes de extrair mais oxigênio do sangue. Isso porque as mitocôndrias das células musculares tornam-se mais numerosas e maiores, há um aumento da quantidade de mioglobina (proteína capaz de armazenar oxigênio nos músculos) e há um aumento do número de capilares sanguíneos nos músculos.

Esses fatores atuam em conjunto e nós não conseguimos fazer com que isso tudo ocorra em nosso corpo de uma hora para outra. Por isso, a atividade física deve ser gradual, para que possamos adquirir preparo físico.

A atividade física bem-orientada contribui para uma vida saudável, pois exerce um forte efeito positivo sobre o coração e o sistema vascular. Além disso,

contribui para que se tenha uma vida mais longa e com menos doenças.

A saúde mental também se beneficia da atividade física. Pode parecer estranho, mas a atividade física relaxa o nosso corpo. Durante os exercícios, há estímulo para aumentar a produção de uma substância chamada endorfina, produzida no sistema nervoso central (na glândula hipófise e em outras regiões do encéfalo). Essa substância atua no nosso corpo diminuindo a dor e nos dando sensação de bem-estar. Os exercícios são recomendados inclusive para pessoas que têm depressão, pois a endorfina contribui para a melhora do doente.

Assim, devemos organizar nossa vida no sentido de praticar esportes, ou qualquer atividade física bem-orientada, com regularidade. Só temos a lucrar com isso.

- Ter uma alimentação saudável, bem balanceada em sais minerais, vitaminas, carboidratos, proteínas e gorduras, é um dos passos para se ter uma boa qualidade de vida. Outro fator importante é a atividade física. No mundo de hoje as pessoas estão se tornando cada vez mais sedentárias e, por isso, é fundamental que se esclareça o porquê da recomendação de atividade física. Explique a importância de essa atividade física ser bem-orientada e por que ela contribui para o bem-estar físico e mental de nosso corpo.



TESTES

1. (UFRS) As afirmações abaixo referem-se ao processo fotossintético.

- I — O oxigênio liberado pelas plantas na fotossíntese tem origem na fotólise da água.
- II — O ATP e o NADPH, produzidos na fase clara, são utilizados em uma série de reações na fase escura da fotossíntese.
- III — A glicose que é produzida na fotossíntese será aproveitada quando ocorrer respiração celular.

Quais estão corretas?

- a) Apenas II.
- b) Apenas III.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

2. (UFJF-MG) Em relação ao oxigênio liberado durante a fotossíntese é **correto** afirmar que:

- a) provém somente das moléculas de H_2O .
- b) provém tanto das moléculas de H_2O quanto das de CO_2 .
- c) provém somente das moléculas de CO_2 .
- d) provém somente das moléculas de $C_6H_{12}O_6$.

3. (UFPA) A fotossíntese é um processo fundamental para a vida da maioria dos seres vivos porque:

- a) produz moléculas de água e ATP a partir da oxidação de compostos inorgânicos.
- b) libera o gás carbônico que será utilizado na formação de carboidratos pelos seres heterótrofos.
- c) produz moléculas de água e reconstitui moléculas de hidrogênio, fornecendo elementos básicos para o metabolismo celular.
- d) produz moléculas de glicose, fornecendo alimento para praticamente todos os seres vivos.
- e) degrada moléculas orgânicas, reduzindo-as a moléculas menores e liberando o gás oxigênio.

4. (Fuvest-SP) As mitocôndrias são consideradas as “casas de força” das células vivas. Tal analogia refere-se ao fato de as mitocôndrias:

- a) estocarem moléculas de ATP produzidas na digestão dos alimentos.
- b) produzirem ATP com utilização de energia liberada na oxidação de moléculas orgânicas.
- c) consumirem moléculas de ATP na síntese de glicogênio ou de amido a partir de glicose.
- d) serem capazes de absorver energia luminosa utilizada na síntese de ATP.
- e) produzirem ATP a partir da energia liberada na síntese de amido ou de glicogênio.

5. (UEM-PR) Com base nos processos esquematizados a seguir, indique o que for correto.

Processo I:



Processo II:



01. A letra **A**, no processo I, representa 6 moléculas de H_2O .
 02. A letra **B**, no processo II, representa álcool etílico.
 04. O processo I representa a fermentação láctica.
 08. O processo II representa a respiração.
 16. A glicólise é comum aos dois processos esquematizados.
 32. O processo I é utilizado na fabricação de pão.
 64. O processo II é utilizado na fabricação de cerveja.

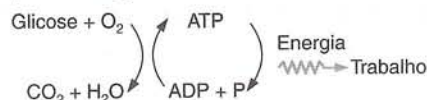
Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (UEL-PR) O que indicam, respectivamente, as letras **A**, **B**, **C** e **D** na tabela abaixo?

Organela	Reação	Processo
Mitocôndria	Síntese de ATP	A
B	Fotólise da água	Fotossíntese
Lisossomo	Hidrólise	C
D	Oxidação	Detoxificação celular

- a) Respiração celular, ribossomo, detoxificação celular, cloroplasto.
 b) Respiração anaeróbica, cloroplasto, síntese de nucleotídeos, ribossomo.
 c) Respiração celular, cloroplasto, digestão intracelular, peroxissomo.
 d) Síntese de proteínas, peroxissomo, digestão intracelular, ribossomo.
 e) Fermentação, cloroplasto, síntese de lipídios, lisossomo.

7. (Unifor-CE) O esquema abaixo mostra de modo simplificado um tipo de reação celular metabólica.



O processo representado é:

- a) respiração anaeróbica. d) fotossíntese.
 b) respiração aeróbica. e) glicólise.
 c) quimiossíntese.

8. (UFF-RJ) Dois microorganismos, **X** e **Y**, mantidos em meio de cultura sob condições adequadas, receberam a mesma quantidade de glicose como único substrato energético. Após terem consumido toda a glicose recebida, verificou-se que o microorganismo **X** produziu três vezes mais CO_2 do que o **Y**.

Considerando-se estas informações, conclui-se ter ocorrido:

- a) fermentação alcoólica no microorganismo **X**.
 b) fermentação láctica no microorganismo **X**.
 c) respiração aeróbica no microorganismo **Y**.
 d) fermentação alcoólica no microorganismo **Y**.
 e) fermentação láctica no microorganismo **Y**.

9. (Unifor-CE) Considere as seguintes afirmações sobre metabolismo energético:

- I — Organismos quimioautotróficos obtêm energia a partir de moléculas orgânicas.
 II — Organismos fotoautotróficos utilizam a energia radiante do Sol.
 III — A liberação de energia armazenada nas ligações químicas de compostos orgânicos pode ocorrer por fermentação ou respiração.
 IV — A fermentação deve ter surgido depois da respiração porque, no início, não havia oxigênio na atmosfera terrestre.

São corretas **somente**:

- a) I e II. c) II e III. e) III e IV.
 b) I e III. d) II e IV.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Por muitos anos pensou-se erroneamente que o oxigênio produzido na fotossíntese viesse do CO_2 absorvido pelas plantas.

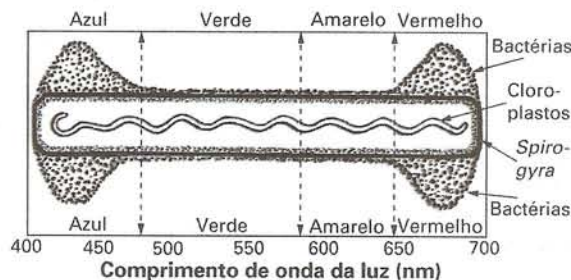
- a) De que substância se origina o O_2 liberado no processo fotossintético?
 b) Indique a equação geral da fotossíntese para os vegetais clorofilados.
 c) Qual o destino do O_2 produzido?
 d) Qual a função da clorofila na fotossíntese?

2. (UFRJ) Com o objetivo de estudar a ação da luz na fotossíntese, foi realizada a seguinte experiência:

Em um pequeno aquário foi colocada uma única célula da alga verde *Spirogyra*; essa célula tem um longo cloroplasto, em forma de fita espiralada, que ocupa todo seu comprimento; moléculas de clorofila estão aderidas sobre a membrana do cloroplasto.

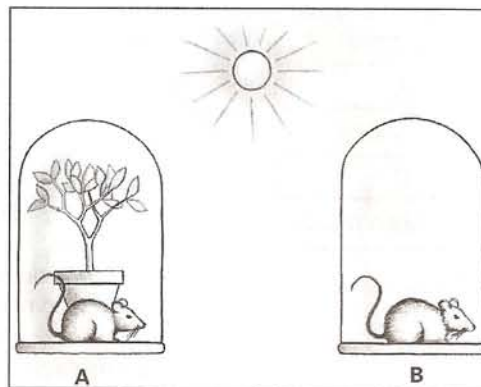
Dentro do aquário foram colocadas também bactérias móveis que são atraídas para áreas onde exista oxigênio em abundância.

O aquário foi, então, iluminado por um feixe de luz branca que passava por um prisma antes de chegar na célula da *Spirogyra*; a luz branca, ao passar pelo prisma, decompõe-se nas cores básicas, de modo que cada região da célula foi iluminada por uma cor diferente, como mostra a figura a seguir:

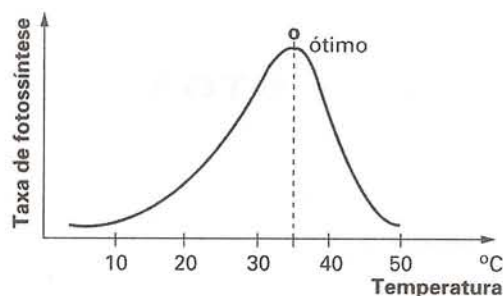


- Explique por que as bactérias se acumulam nas áreas indicadas na figura.
- Se a *Spirogyra* fosse iluminada diretamente por um feixe de luz branca, o que aconteceria com a distribuição das bactérias? Justifique sua resposta.

3. (UFPR) Conforme a figura a seguir, dois ratos hipoteticamente nas mesmas condições físicas foram isolados nas campânulas A e B, de vidro transparente, hermeticamente fechadas e colocadas em ambiente iluminado. A campânula A continha uma planta viva clorofilada. A campânula B não continha nenhuma planta. Observou-se que o rato da campânula A sobreviveu por mais tempo que o rato da campânula B. Por quê?



4. (UFPA) A fotossíntese é o processo nutritivo mais importante entre os seres vivos onde ela ocorre (algas, bactérias, vegetais) e consiste na produção de substância orgânica (carboidratos) a partir do CO_2 , H_2O e energia luminosa. O processo ocorre em duas etapas: a primeira é a fase **fotoquímica** e a segunda é a fase **química**. Vários fatores internos e externos podem determinar alterações na taxa de fotossíntese, tais como: clorofila, enzimas, CO_2 , luz, temperatura etc. O gráfico a seguir mostra essa variação e foi obtido estando a planta em condições ótimas de luz, água e CO_2 , fazendo-se variar apenas a temperatura.



Que se pode deduzir a partir dos resultados expressos no gráfico? Explique.

5. (UERJ) A procura de formas de vida em nosso sistema solar tem dirigido o interesse de cientistas para Io, um dos satélites de Júpiter, que é coberto por grandes oceanos congelados. As condições na superfície são extremamente agressivas, mas supõe-se que, em grandes profundidades, a água esteja em estado líquido e a atividade vulcânica submarina seja freqüente.

Considerando que tais condições são similares às do bioma abissal da Terra, aponte o tipo de bactéria que poderia ter se desenvolvido em Io, e indique como esse tipo de bactéria obtém energia para a síntese de matéria orgânica.

6. (Unicamp-SP) No citoplasma das células são encontradas diversas organelas, cada uma com funções específicas, mas interagindo e dependendo das outras para o funcionamento celular completo. Assim, por exemplo, os lisossomos estão relacionados ao complexo de Golgi e ao retículo endoplasmático rugoso, e todos às mitocôndrias.

- a) Explique que relação existe entre lisossomos e complexo de Golgi.
- b) Qual a função dos lisossomos?
- c) Por que todas as organelas dependem das mitocôndrias?

7. (Fuvest-SP) O fungo *Saccharomyces cerevisiae* (fermento de padaria) é um anaeróbico facultativo. Quando cresce na ausência de oxigênio, consome muito mais glicose do que quando cresce na presença de oxigênio. Por que existe essa diferença no consumo de glicose?

8. (Fuvest-SP) Considere três tipos de células do corpo de um homem adulto: células epidérmicas, células do tecido adiposo e espermatozoides.

- a) Em qual dessas células espera-se encontrar maior consumo de ATP? Que tipo de organela citoplasmática essa célula terá em número maior do que as demais?
- b) Qual das três células excretará mais gás carbônico?

9. (Vunesp-SP) Uma mistura de fermento, água e açúcar foi colocada em uma garrafa térmica (I). Em outra garrafa térmica (II), foi colocada uma mistura de fermento e água. Em ambas as garrafas foi deixado um espaço de cerca de 5 cm entre o nível do líquido e a boca da garrafa. Elas foram tampadas com rolhas, em cada uma das quais inseriu-se um termômetro com o bulbo imerso no respectivo líquido. Vinte e quatro horas após, foram lidas as temperaturas dos dois termômetros.

- a) Qual dos termômetros indicava temperatura mais alta?
- b) Justifique sua resposta.

10. (Fuvest-SP) No processo de fabricação do pão, um ingrediente indispensável é o fermento, constituído por organismos anaeróbicos facultativos.

- a) Qual a diferença entre o metabolismo energético das células que ficam na superfície da massa e o metabolismo energético das células que ficam no seu interior?
- b) Por que o fermento faz o pão crescer?

11. (UFRJ) A produção de vinho é um dos exemplos mais antigos de biotecnologia. O livro do Gênesis já nos fala da embriaguez de Noé. Embora vários fatores devam ser levados em conta na produção de um bom vinho — como a cor, o aroma, o sabor etc. —, o processo depende essencialmente da degradação do suco das uvas por leveduras anaeróbicas facultativas, presentes na casca do fruto. Na fermentação, nome dado a esse processo, o açúcar da uva é degradado a álcool etílico (etanol).

Explique por que se evita, na produção de vinho, o contato do suco de uva com o ar.

12. (UFCE) A fermentação consiste na degradação de compostos orgânicos em ausência de oxigênio, com o objetivo de obtenção de energia por certos organismos, tais como bactérias e leveduras. Quais são os produtos finais da ação das leveduras sobre os carboidratos da cana-de-açúcar e do trigo que justifiquem a utilização das mesmas na fabricação da cachaça e do pão, respectivamente?

O núcleo e a síntese protéica

1. Introdução

Depois de termos estudado os envoltórios celulares e o citoplasma, vamos discutir o núcleo.

O núcleo é uma estrutura presente nas células eucarióticas e coordena e comanda todas as funções celulares. Ele sofre profundas modificações durante a divisão celular, mas vamos inicialmente estudá-lo quando ainda não está em processo de divisão, ou seja, quando está na **interfase**.

2. Número e forma

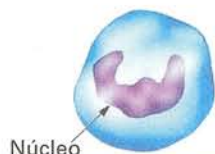
A maioria das células eucarióticas é **mononucleada**, isto é, possui apenas um núcleo. Mas existem também células:

- **binucleadas** (com dois núcleos), como as de certas espécies de protistas ciliados;
- **multinucleadas** (com vários núcleos), como, por exemplo, as células musculares estriadas do corpo humano;
- **anucleadas**, que durante a sua diferenciação perdem o núcleo; é o caso das hemácias da imensa maioria dos mamíferos.

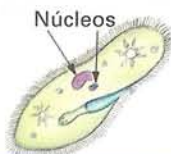
As células anucleadas possuem vida curta, pois, não havendo núcleo, não há comando para a realização de suas atividades vitais. As hemácias são constantemente produzidas a partir de células nucleadas na medula vermelha dos ossos.

O núcleo geralmente é arredondado, mas existem outros formatos característicos; entretanto, para um mesmo tipo de célula, o formato do núcleo é relativamente constante.

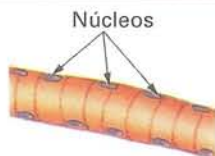
O núcleo interfásico é constituído pela **carioteca**, pelo **nucleoplasma**, pela **cromatina** e pelo **nucléolo**, que serão discutidos a seguir.



Núcleo
Esquema de leucócito: célula mononucleada. Mede cerca de 15 µm de diâmetro. (Cores-fantasia.)



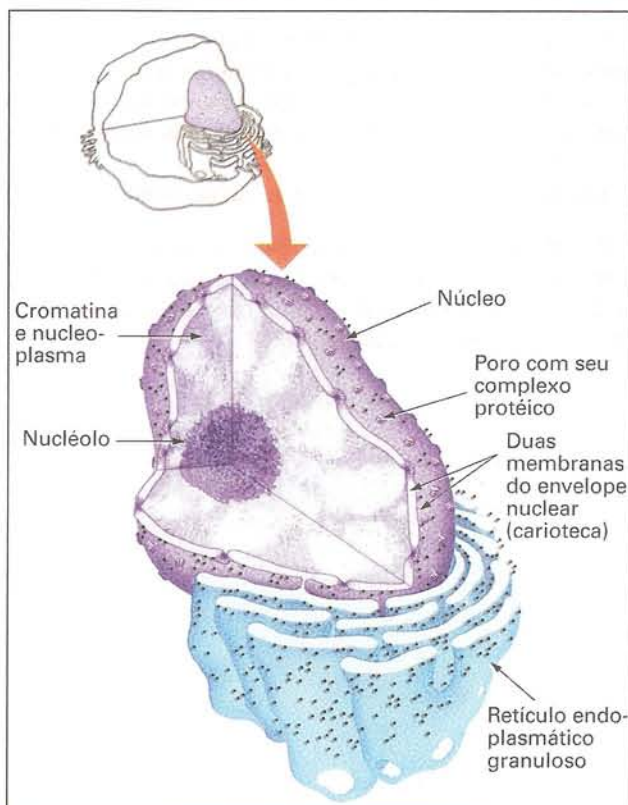
Núcleos
Esquema de organismo unicelular ciliado com célula binucleada. Mede cerca de 300 µm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Núcleos
Esquema de parte de uma célula muscular estriada, que é multinucleada. A célula toda mede cerca de 2 a 3 cm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Esquema de hemácia humana: célula anucleada. Mede cerca de 7 µm de diâmetro. (Cor-fantasia.)



Esquema de célula animal com parte da célula removida, destacando o núcleo e o retículo endoplasmático granuloso. (Cores-fantasia.)

3. Carioteca

A carioteca separa o material nuclear do citoplasma. É formada por duas membranas lipoprotéicas, cada uma delas com organização estrutural semelhante à das demais membranas celulares. Essas membranas são separadas entre si por um espaço denominado **espaço perinuclear**.

A membrana externa da carioteca comunica-se com o retículo endoplasmático granuloso, apre-

sentando inclusive ribossomos aderidos a ela.

A carioteca apresenta “**poros**” ou *annuli*, delimitando espaços através dos quais ocorrem trocas de substâncias entre núcleo e citoplasma. Em cada poro há um complexo de proteínas que regula a entrada e a saída de substâncias, de modo que há controle sobre o que entra e o que sai do núcleo.

4. Cromatina e nucleoplasma

No interior do núcleo interfásico, cada **cromossomo**, que é constituído por DNA associado a proteínas básicas (histonas), tem aspecto de fio e forma a **cromatina**. Esse termo, derivado do grego *chroma*, que significa cor, foi empregado logo no início do estudo das células, quando os cientistas verificaram que o núcleo se tingia com determinados tipos de corantes básicos.

O aspecto da cromatina é de uma massa formada por vários fios muito longos e finos, mas que não se consegue individualizar. Somente quando a célula entra em divisão é possível ver os cromossomos

individualizados, pois ocorre a condensação da cromatina, isto é, os fios sofrem espiralização, tornando-se mais curtos e espessos.

Observando cortes corados de núcleo interfásico ao microscópio, verificam-se dois tipos básicos de cromatina: a **heterocromatina**, que corresponde a regiões mais coradas da cromatina, e a **eucromatina**, que corresponde a regiões menos coradas.

A cromatina encontra-se imersa no **nucleoplasma**, que é constituído de substâncias dissolvidas em água.

5. Nucléolo

O **nucléolo** é um corpúsculo denso, não-delimitado por membrana, presente no interior do núcleo. É uma região de intensa síntese de um tipo de ácido nucléico denominado **ácido ribonucleico ribossômico (RNAr)**. Essa síntese ocorre em certas regiões de determinados cromossomos, denominadas **regiões organizadoras do nucléolo**. Nelas existem os genes para a síntese de RNAr.

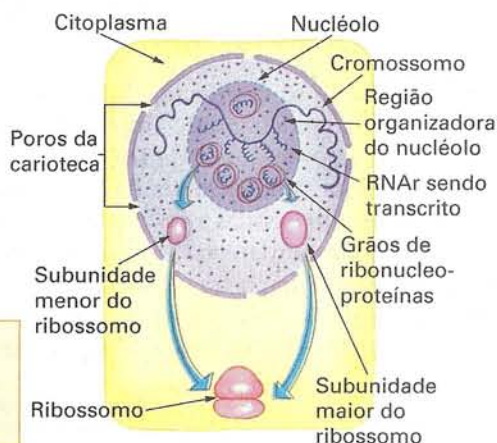
Logo após sua síntese, o RNAr associa-se a proteínas, formando **grãos de ribonucleoproteínas**, que comporão os **ribossomos**. Esses grãos permanecem por algum tempo próximos ao local de sua síntese e depois saem do núcleo em direção ao citoplasma, passando através dos poros da carioteca. Enquanto isso, novos grãos vão sendo formados no nucléolo, repondo os que estão saindo do núcleo. O nucléolo corresponde, portanto, a uma região de grande concentração de ribonucleoproteínas e de RNAr.

Cedoc



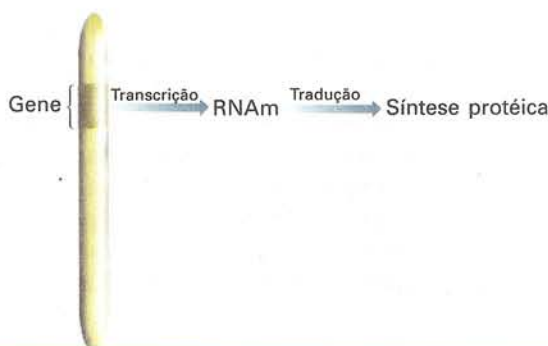
Micrografia eletrônica de transmissão de célula eucariótica evidenciando o núcleo, cujo diâmetro é de cerca de 5 µm.

Esquema da organização do nucléolo e da formação de ribossomos. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)



6. Cromossomos, genes e DNA

Os cromossomos dos eucariontes são formados por DNA e proteínas. Estudos experimentais comprovaram que é a molécula de DNA que contém os genes; portanto, é ela que comanda e coordena toda a função celular. Esses estudos demonstraram também que cada gene comanda a síntese de determinada proteína ou polipeptídeo e que desse processo participam moléculas de RNA. Na síntese de determinada proteína, um gene é **transcrito** em moléculas de RNA que vão ser **traduzidas** em moléculas de proteínas no citoplasma.



Esquema de um trecho de cromossomo com destaque para um gene, sua transcrição em RNAm e tradução em proteína. (Cor-fantasia.)

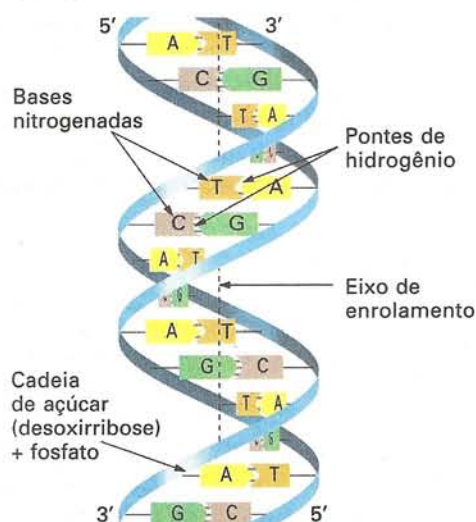
Vamos ver, então, como isso se processa.

Conforme comentamos no capítulo 3, cada molécula de DNA é formada por vários nucleotídeos. Cada nucleotídeo possui uma molécula de ácido fosfórico (**P**), uma molécula do açúcar desoxirribose (**D**) e uma molécula de base nitrogenada. Um nucleotídeo difere do outro apenas pela base nitrogenada, que pode ser **adenina** (**A**), **guanina** (**G**), **citossina** (**C**) ou **timina** (**T**).

O modelo da estrutura molecular do DNA foi proposto em 1953 pelos pesquisadores Watson e Crick, e é aceito até hoje. Segundo esse modelo, cada

molécula de DNA é uma dupla-hélice em que duas cadeias de nucleotídeos dispõem-se espiraladamente em torno de um eixo. Essas cadeias estão unidas entre si por pontes de hidrogênio que se formam entre as bases nitrogenadas. Essa união não é aleatória: a adenina de uma cadeia emparelha-se sempre com a timina da outra; a citosina de uma cadeia emparelha-se sempre com a guanina da outra. Diz-se que **A** e **T** são bases complementares, uma em relação à outra, assim como ocorre com **C** e **G**. Isso significa que, se em um trecho de uma molécula de DNA uma das cadeias apresenta a sequência de bases **TCAGTC**, a cadeia complementar é **AGTCAG**, respectivamente.

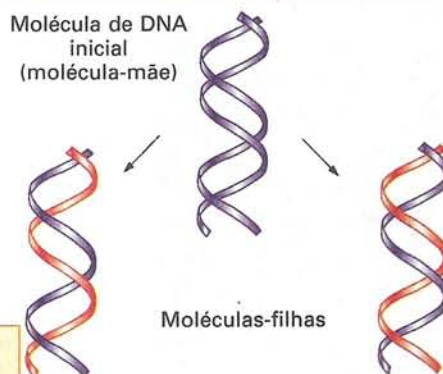
Cada cadeia da molécula de DNA tem seus nucleotídeos dispostos linearmente, e a ordem em que eles ocorrem pode variar. Uma molécula de DNA difere de outra pela ordem em que os nucleotídeos se dispõem.



Representação esquemática de um trecho de uma molécula de DNA, que evidencia o aspecto de dupla-hélice. (Cores-fantasia.)

7. Duplicação do DNA

Antes de se dividir, a célula duplica o DNA por um processo chamado **duplicação semiconservativa**, pelo fato de que cada DNA novo possui uma das cadeias de nucleotídeos da molécula-mãe, garantindo que as células resultantes do processo recebam o mesmo material genético. Na duplicação do DNA há participação de uma enzima chamada **DNA-polimerase**, que catalisa a síntese da cadeia nova tomando a cadeia-mãe como molde.



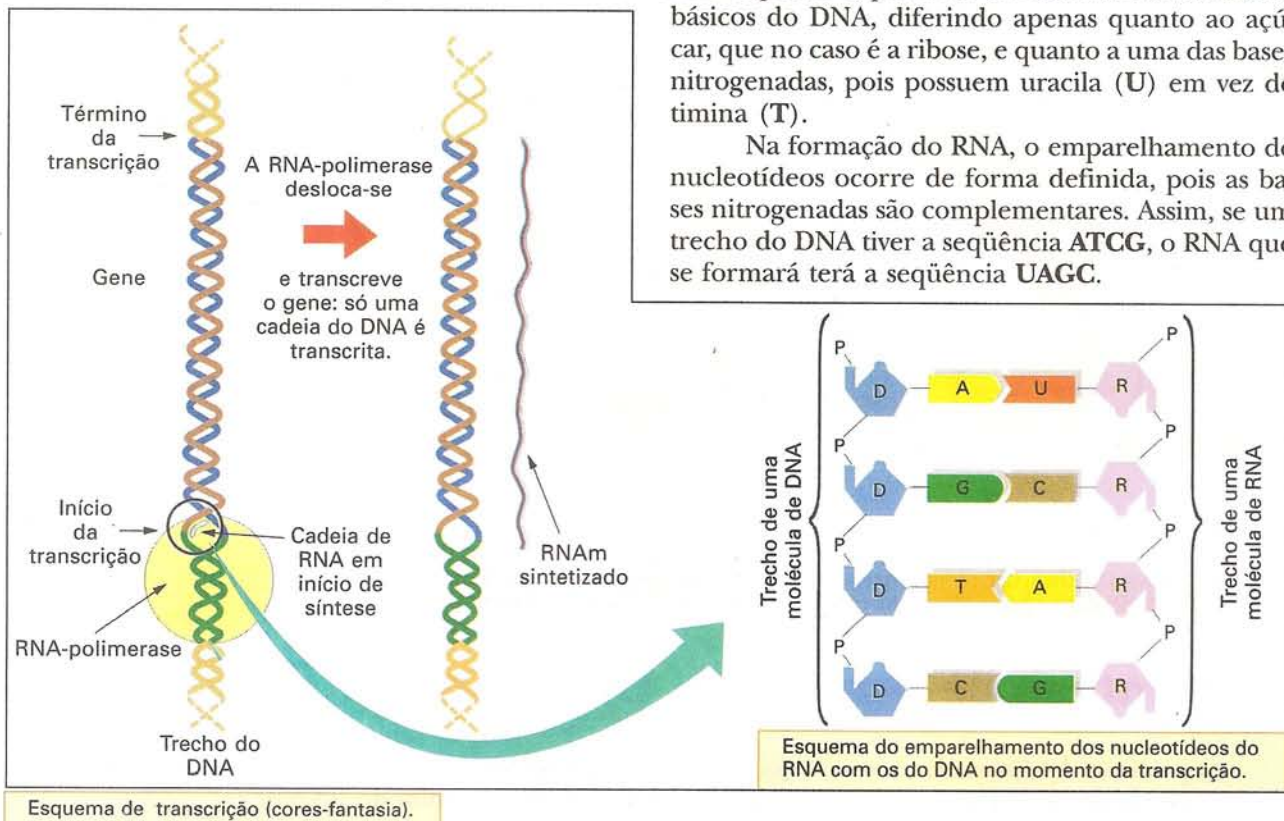
Esquema da duplicação semiconservativa do DNA. (Cores-fantasia.)

8. Síntese de RNA: transcrição

O RNA é formado por um processo denominado **transcrição**: o trecho da molécula de DNA que contém um gene a ser transcrito abre-se, e nesse ponto inicia-se o emparelhamento de nucleotídeos do RNA por ação da enzima **RNA-polimerase**. Completado o emparelhamento, o RNA se solta.

Os nucleotídeos do RNA, conforme comentamos no capítulo 3, possuem os mesmos constituintes básicos do DNA, diferindo apenas quanto ao açúcar, que no caso é a ribose, e quanto a uma das bases nitrogenadas, pois possuem uracila (U) em vez de timina (T).

Na formação do RNA, o emparelhamento de nucleotídeos ocorre de forma definida, pois as bases nitrogenadas são complementares. Assim, se um trecho do DNA tiver a sequência **ATCG**, o RNA que se formará terá a sequência **UAGC**.



9. O código genético

Cada proteína é formada por uma sequência específica de aminoácidos que é determinada pelo gene. Sabe-se que existem vinte tipos diferentes de aminoácido e que cada gene é formado por uma sequência de bases nitrogenadas. Como será que os quatro tipos de base nitrogenada no gene conseguem codificar vinte tipos diferentes de aminoácido?

Se considerarmos que cada base codifica um aminoácido, então só poderiam existir quatro aminoácidos, mas existem vinte. Propôs-se, então, que as bases nitrogenadas formariam uma linguagem em código e que cada código corresponderia a um aminoácido. Surgiu, assim, a expressão **código genético**.

Inicialmente supôs-se que cada código seria formado pela combinação de duas bases nitrogenadas. Entretanto, quando se faz o cálculo do número total de combinações possíveis entre as quatro

bases nitrogenadas em grupos de dois, verifica-se que esse número é dezesseis, menor do que o número total de aminoácidos. Desse modo, o código genético não poderia ser formado por pares de bases nitrogenadas.

Após várias experimentações e comprovações, chegou-se à conclusão de que são **trincas** de bases nitrogenadas que codificam os aminoácidos: é o **código de trincas** ou **de tríades**.

A combinação das quatro bases nitrogenadas em grupos de três dá um total de 64 trincas possíveis. Esse número é muito maior do que o número total de aminoácidos. Entretanto, provou-se experimentalmente que um mesmo aminoácido pode ser codificado por mais de uma trinca, havendo, assim, trincas sinônimas. Por isso, diz-se que o código genético é degenerado, pois um aminoácido pode ser codificado por mais de uma trinca.

Além disso, existem três trinças que não codificam aminoácidos mas determinam o fim do polipeptídeo.

Segunda posição na trinca				
	A	G	T	C
A	AAA } Fenilalanina	AGA } Serina	ATA } Tirosina	ACA } Cisteína
	AAG } Leucina	AGG } Serina	ATG } Parada	ACG } Parada
	AAT } Leucina	AGT } Serina	ATT } Parada	ACT } Triptofano
	AAC } Leucina	AGC } Serina	ATC } Parada	ACC } Triptofano
G	GAA } Leucina	GGA } Prolina	GTA } Histidina	GCA } Arginina
	GAG } Leucina	GGG } Prolina	GTG } Histidina	GCG } Arginina
	GAT } Leucina	GGT } Prolina	GTT } Glutamina	GCT } Arginina
	GAC } Leucina	GGC } Prolina	GTC } Glutamina	GCC } Arginina
T	TAA } Isoleucina	TGA } Treonina	TTA } Asparagina	TCA } Serina
	TAG } Isoleucina	TGG } Treonina	TTG } Asparagina	TCG } Serina
	TAT } Metionina	TGT } Treonina	TTT } Lisina	TCT } Arginina
	TAC } Metionina	TGC } Treonina	TTC } Lisina	TCC } Arginina
C	CAA } Valina	CGA } Alanina	CTA } Ácido aspártico ou aspartato	CCA } Glicina
	CAG } Valina	CGG } Alanina	CTG } Ácido aspártico ou aspartato	CCG } Glicina
	CAT } Valina	CGT } Alanina	CTT } Ácido glutâmico ou glutamato	CCT } Glicina
	CAC } Valina	CGC } Alanina	CTC } Ácido glutâmico ou glutamato	CCC } Glicina

Primeira posição na trinca

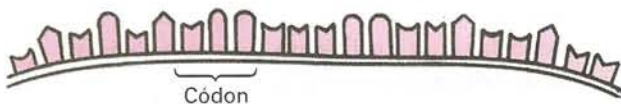
Terceira posição na trinca

Código de trinças do DNA. Cada código refere-se a determinado aminoácido, mas há aminoácidos codificados por mais de uma trinca, havendo assim códigos sinônimos. Os códigos ATT, ATC e ACT determinam parada na tradução.

10. Síntese de proteínas: tradução

O processo de síntese de proteínas denomina-se **tradução** e nele participam os três tipos de RNA:

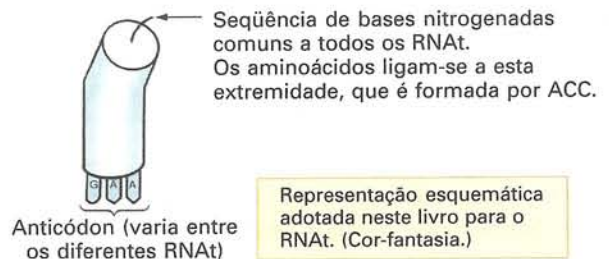
- **RNA ribossômico (RNA_r)** — ocorre associado a proteínas, formando os ribossomos;
- **RNA mensageiro (RNA_m)** — é formado por um filamento simples que contém várias seqüências de três bases nitrogenadas, sendo cada conjunto de três bases chamado **códon**. A seqüência dos códons determina a seqüência de aminoácidos da proteína. O RNA_m leva a informação do DNA dos cromossomos para a produção do polipeptídeo no citoplasma:



Representação esquemática do RNA_m.

- **RNA transportador (RNA_t)** — é o menor RNA da célula e tem o formato de folha de trevo. Em uma das extremidades livres de sua molécula há sempre a seqüência **ACC** de bases nitrogenadas, onde ocorre a associação do RNA_t com o aminoácido. Em outra região da molécula há uma seqüência de três bases denominada **anticódon**, que

reconhece a posição do aminoácido no RNA_m e une-se ao códon do RNA_m:



Anticódon (varia entre os diferentes RNA_t)

Representação esquemática adotada neste livro para o RNA_t. (Cor-fantasia.)

Havendo necessidade de determinado polipeptídeo, será formado um RNA_m por transcrição de um gene específico do DNA, levando a informação até o local de síntese protéica no citoplasma.

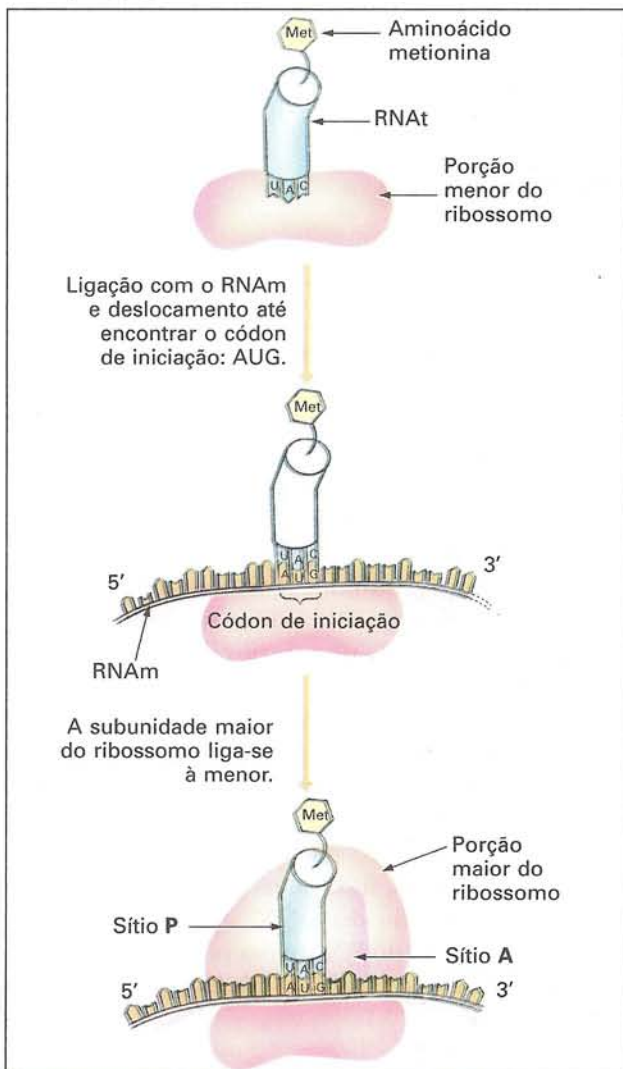
Toda molécula de RNA_m possui:

- um **códon de iniciação**, que é sempre o mesmo (**AUG**), correspondente ao aminoácido **metionina**;
- **vários códons** que determinam a seqüência dos aminoácidos no polipeptídeo;
- um **códon de terminação**, que marca o final daquela cadeia polipeptídica, podendo ser **UAG**, **UAA** ou **UGA**; só há um deles na molécula de RNA_m.

A tradução ocorre em três etapas sucessivas: iniciação, alongamento e terminação.

Na etapa de **iniciação** a porção menor do ribossomo associa-se ao RNAt da metionina e juntos passam a percorrer a molécula de RNAm até encontrarem o códon de iniciação: AUG. Quando o encontram, a subunidade maior do ribossomo une-se à subunidade menor.

Para isso, existem no ribossomo dois sítios: **sítio A**, onde ocorre a entrada do aminoácido, e **sítio P**, onde fica o polipeptídeo em formação. O RNAt da metionina fica associado ao sítio **P** do ribossomo, e o sítio **A** nesse momento permanece vazio. Portanto, a **metionina** é o primeiro aminoácido da cadeia polipeptídica.



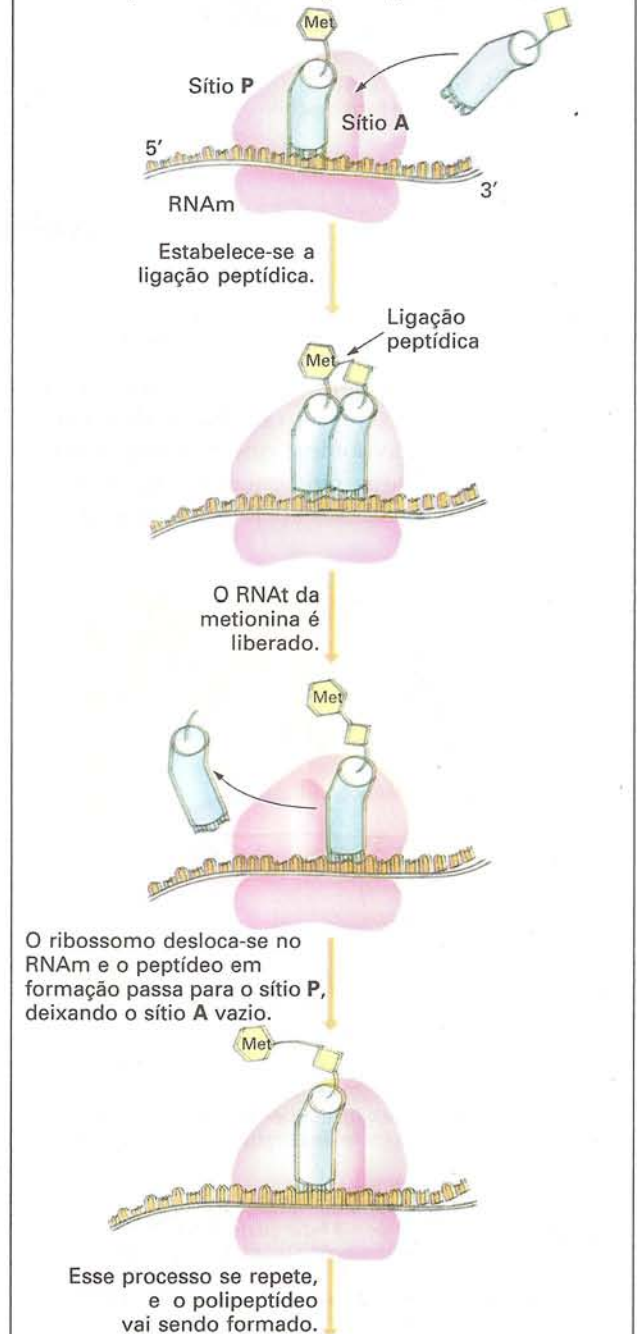
Esquema da fase de iniciação. (Cores-fantasia.)

Tem início agora a etapa de **alongamento**. Um RNAt do aminoácido que corresponde ao códon seguinte do RNAm encaixa-se no sítio **A**. Uma ligação peptídica é estabelecida entre os dois aminoácidos e o RNAt da metionina é liberado. O ribossomo desloca-se no RNAm e os dois aminoácidos unidos passam a ocupar o sítio **P**, deixando o sítio **A** vazio.

Então, outro RNAt, com um terceiro aminoácido que seja reconhecido pelo terceiro códon do RNAm, entra no sítio **A** e ocorre a formação de outra ligação peptídica entre o segundo e o terceiro aminoácidos. O RNAt do segundo aminoácido é liberado e o ribossomo se desloca até o próximo códon. A cadeia formada por três aminoácidos passa a ocupar o sítio **P**, deixando novamente o sítio **A** vazio.

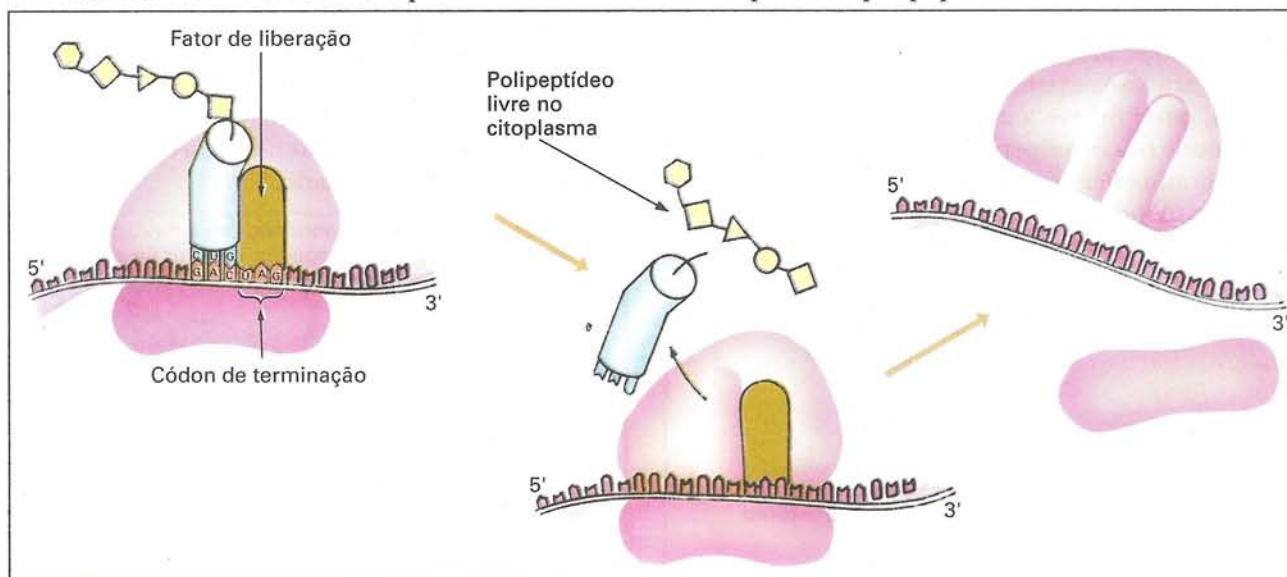
Essa sequência de eventos se repete e o polipeptídeo vai sendo formado.

Um segundo RNAt, transportando um aminoácido que corresponde ao códon seguinte, penetra no sítio **A**.



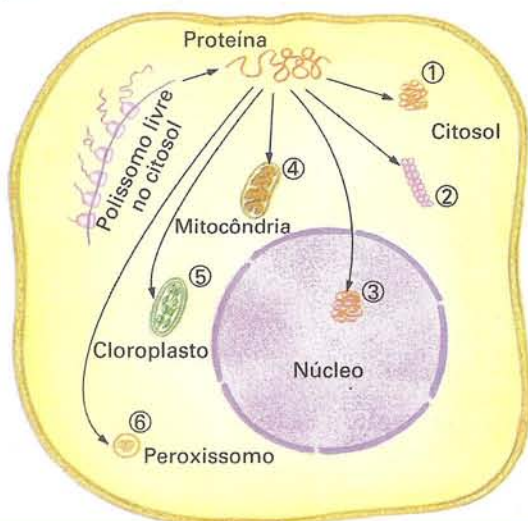
Esquema da fase de alongamento do polipeptídeo. (Cores-fantasia.)

Na fase de **terminação**, o sítio **A** é ocupado por proteínas citoplasmáticas que se ligam diretamente ao códon de terminação do RNAm, cessando a síntese daquela molécula de polipeptídeo. Ela é liberada do ribossomo, as subunidades maior e menor do ribossomo dissociam-se e o RNAm fica livre no citoplasma. A metionina do início da cadeia pode ser removida ou fazer parte do polipeptídeo.



Esquema da fase de terminação. (Cores-fantasia.)

A síntese completa de uma proteína leva de 20 a 60 segundos, e o mesmo RNAm pode ser traduzido por vários ribossomos, que mantêm uma distância entre si de aproximadamente 80 nucleotídeos. Vários ribossomos unidos ao RNAm são chamados de **polissomos**.



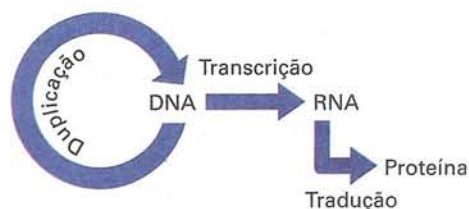
Esquema de uma célula vegetal **hipotética** mostrando os possíveis destinos de proteínas sintetizadas por polissomos do citosol.

- 1 — enzima livre no citosol;
 - 2 — proteína que fará parte do citoesqueleto;
 - 3 — proteína nuclear (poderá fazer parte dos cromossomos);
 - 4 — enzimas que farão parte de etapas da respiração no interior da mitocôndria;
 - 5 — enzimas que farão parte de etapas da fotossíntese no interior do cloroplasto;
 - 6 — enzimas que serão armazenadas no interior do peroxissomo.
- (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

A síntese de proteínas pode ocorrer no retículo endoplasmático granuloso (REG). Nesse caso, ela se inicia no citosol, mas logo se forma uma sequência-sinal que faz com que o ribossomo associado ao polipeptídeo em formação e ao RNAm se ligue a proteínas específicas da membrana do retículo endoplasmático granuloso. A síntese prossegue com o ribossomo associado à membrana do retículo endoplasmático granuloso e, ao término, a proteína é liberada no interior do retículo, e não no citosol.

Os ribossomos livres no citosol são responsáveis pela síntese de proteínas que vão atuar no citosol, no núcleo, nas mitocôndrias ou nos cloroplastos. Os ribossomos ligados ao retículo granuloso vão produzir proteínas que irão para o complexo golgiense, vesículas secretoras, lisossomos e vacúolos.

A duplicação do DNA, sua transcrição em RNA e a tradução do RNAm em polipeptídeos constituem o **princípio básico da Biologia**.

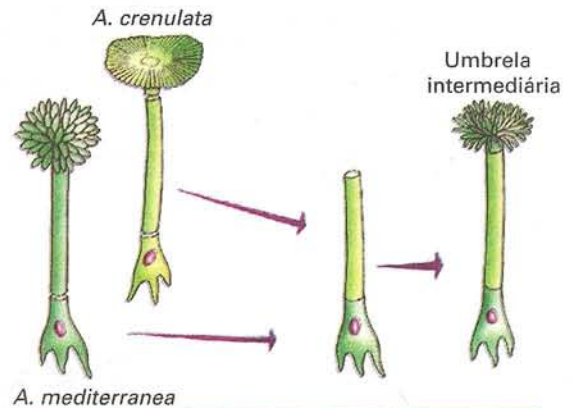


Esquema dos três mecanismos básicos que ocorrem em todos os seres vivos.



QUESTÕES PARA ESTUDO

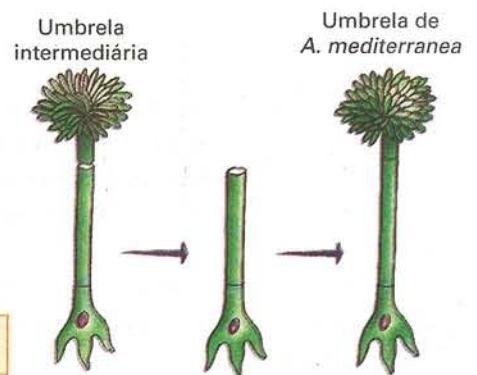
1. Na década de 1930 um pesquisador alemão estava procurando entender o papel do núcleo celular. Para seus experimentos escolheu como material de trabalho a alga marinha unicelular chamada *Acetabularia*, visível a olho nu. Esse pesquisador analisou o comportamento de duas espécies de *Acetabularia*: a que possui um tipo de chapéu crenulado em forma de guarda-chuva no ápice da célula, chamada *Acetabularia crenulata*, e outra cujo chapéu lembra uma margarida e recebe o nome de *Acetabularia mediterranea*. O pesquisador verificou que ambas as espécies apresentavam o mesmo comportamento ao sofrerem cortes em suas células: a parte da célula que ficava com o núcleo conseguia regenerar o restante da célula. Depois disso, ele realizou transplantes entre as partes cortadas dessas duas espécies, conforme mostra a figura ao lado.



Esquema dos experimentos realizados com duas espécies de acetabulária, algas verdes unicelulares que medem cerca de 4 cm de altura.

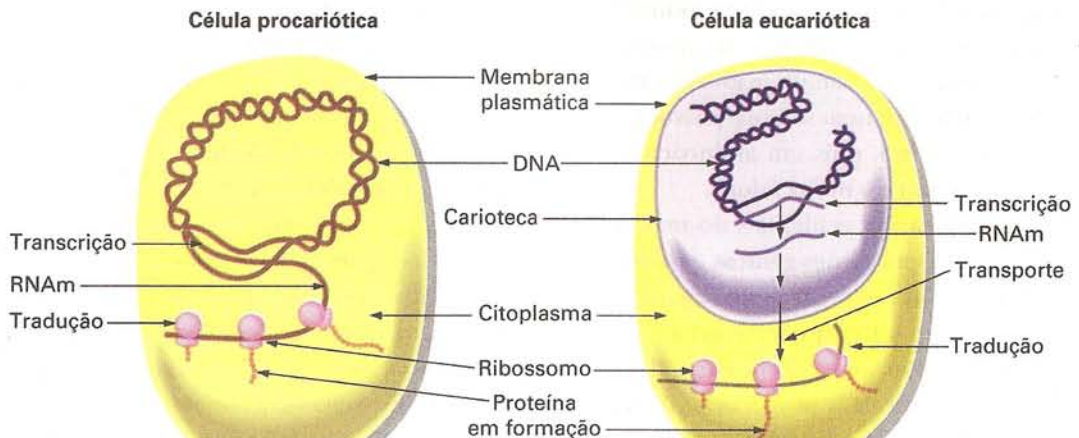
No indivíduo recém-transplantado, regenerou-se um chapéu com características intermediárias entre o de *A. crenulata* e o de *A. mediterranea*. Diante disso, o pesquisador resolveu cortar novamente o chapéu desse indivíduo transplantado para saber o que aconteceria. Veja qual foi o resultado na figura ao lado.

Explique os resultados desses experimentos.



Esquema do experimento realizado com a forma intermediária de acetabulária.

2. Compare e descreva os processos aqui esquematizados:

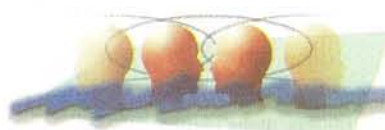


Esquema de célula procariótica e célula eucariótica. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

3. Construa um modelo da molécula de DNA, indicando a composição química dos nucleotídeos que a compõem. Esse modelo pode ser feito com desenhos ou mesmo peças construídas com cartolina ou com massa de modelar. Compare seu modelo com o de seus colegas e diga em que eles diferem e em que se assemelham.

4. Tomando esse modelo como molde, explique o processo de duplicação da molécula de DNA.
5. Utilizando ainda o mesmo modelo, explique o processo de transcrição gênica.
6. Faça um esquema explicativo dos três tipos de RNA que ocorrem nas células e diga a função de cada um deles.
7. Conceitue código genético e explique o que significa dizer que ele é degenerado.
8. Explique o que é um gene e qual a relação dele com o polipeptídeo.

9. Escolha alguns códons da tabela de código genético que sejam suficientes para você explicar o processo de síntese de um peptídeo hipotético formado por quatro aminoácidos (nenhuma proteína é assim tão pequena; este é apenas um exercício para se entender o processo). Explique esse processo, considerando as três fases da síntese protéica: iniciação, alongamento e terminação. Para sua explicação, construa modelos de ribossomo, RNAm, RNAt e de aminoácidos. Para construir esses modelos você pode usar massa de modelar, cartolina, contas de colar, peças de encaixe ou outro material disponível. Use sua imaginação e criatividade.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Mutações gênicas

Conhecer o mecanismo de síntese protéica pode nos ajudar a compreender a manifestação de vários caracteres genéticos normais e patológicos. Afinal, os genes manifestam-se por meio da síntese protéica.

Várias doenças humanas são causadas por alterações em genes, que deixam de executar suas funções normais.

Durante a duplicação de uma molécula de DNA, pode ocorrer a substituição incorreta de uma base nitrogenada. Nesse caso, o códon produzido será outro, o que pode causar alteração na proteína em virtude da substituição do aminoácido. No entanto, a alteração de uma base nem sempre provoca a substituição do aminoácido, pois um aminoácido pode ser codificado por um ou mais códons.

Essas modificações acidentais do material genético são chamadas **mutações gênicas** e podem provocar alterações nas características do organismo. Essas alterações podem ser prejudiciais ou não.

Vamos comentar aqui três doenças decorrentes de mutações gênicas: a **progeria**, a **doença de Alzheimer** e a **adrenoleucodistrofia**.

A **progeria** manifesta-se em crianças com idade ao redor de 5 ou 6 anos, fazendo com que aos 8 ou 9 anos elas já tenham a aparência de uma pessoa idosa. É uma doença letal. As causas exatas da progeria não são bem conhecidas, mas envolvem mutações gênicas.

A **doença de Alzheimer** parece ter várias causas. Uma delas está relacionada à mutação em certo gene do cromossomo 21, o que leva à degeneração do sistema nervoso central. Inicialmente há perda progressiva de memória. Termina com uma profunda devastação do cérebro, levando o indivíduo à morte. A manifestação da doença de Alzheimer ocorre em adultos, provocando senilidade precoce, isto é, antes dos 60 anos de idade.

A **adrenoleucodistrofia** é uma doença causada por uma mutação em um gene do cromossomo X. Essa mutação incapacita o organismo de metabolizar certos tipos de lipídios (óleos), determinando uma doença neurológica degenerativa que pode levar o indivíduo à morte. As características dessa doença e a história da descoberta de seu tratamento são contadas no filme *O óleo de Lorenzo*, que merece ser assistido.

- Procure mais informações a respeito das doenças aqui comentadas e de outras decorrentes de mutações gênicas e discuta sobre elas.
- Usando o mesmo modelo construído no item 3 das **Questões para estudo**, explique o que acontece quando ocorre uma mutação gênica.



TESTES

1. (Fuvest-SP) Qual das alternativas se refere a um cromossomo?

- a) Um conjunto de moléculas de DNA com todas as informações genéticas da espécie.
- b) Uma única molécula de DNA com informação genética para algumas proteínas.
- c) Um segmento de molécula de DNA com informação para uma cadeia polipeptídica.
- d) Uma única molécula de RNA com informação para uma cadeia polipeptídica.
- e) Uma sequência de três bases nitrogenadas do RNA mensageiro correspondente a um aminoácido na cadeia polipeptídica.

2. (UFSM-RS) Analise as afirmativas a seguir:

- I — Nas células eucariontes, a informação genética é transmitida do citoplasma, onde está o DNA, para o núcleo, onde serão produzidas as proteínas.
- II — Nas bactérias, transcrição e tradução ocorrem no mesmo local porque as células procariontes não possuem sistema de endomembranas.
- III — Durante a transcrição, uma fita de DNA serve como molde para a produção do RNA que terá uma sequência de nucleotídeos complementar à fita-molde.

Está(ão) correta(s):

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas I e III.
- e) apenas II e III.

3. (PUC-PR) Suponha que uma molécula de DNA seja constituída de 1 400 nucleotídeos e, destes, 20% são de citosina. Então, as quantidades dos quatro tipos de nucleotídeos nessa molécula serão:

- a) 280 de citosina, 280 de guanina, 420 de adenina e 420 de timina.
- b) 280 de citosina, 280 de timina, 420 de adenina e 420 de guanina.
- c) 280 de citosina, 280 de adenina, 420 de timina e 420 de guanina.
- d) 420 de citosina, 420 de timina, 280 de adenina e 280 de guanina.
- e) 420 de citosina, 420 de guanina, 280 de adenina e 280 de timina.

4. (UFCE) Tendo em vista a estrutura e a função dos ácidos nucleicos, é correto afirmar que:

- a) todas as trincas da molécula do mRNA especificam algum aminoácido.
- b) as moléculas do ácido ribonucleico (RNA) são hélices duplas de polirribonucleotídeos.
- c) em todos os organismos, só existe um gene para cada molécula de DNA.

d) as estruturas espaciais e moleculares do DNA e RNA são diferentes.

e) as duas metades da hélice dupla do DNA têm sequências iguais de bases nitrogenadas.

5. (UEPA) Observe a tabela abaixo e indique a relação correta dos ácidos nucleicos com as bases nitrogenadas que fazem parte de sua composição e determinação.

	Citosina	Guanina	Uracila	Timina
a) RNA	RNA	RNA	DNA/RNA	DNA/RNA
b) DNA	RNA	RNA	DNA/RNA	DNA/RNA
c) DNA/RNA	DNA/RNA	DNA/RNA	DNA	RNA
d) DNA/RNA	DNA/RNA	DNA/RNA	RNA	DNA
e) DNA/RNA	DNA/RNA	DNA/RNA	RNA	RNA

6. (UFSC) Um dos processos metabólicos mais importantes, que ocorre em nível celular, é a síntese de proteínas. Com relação a esse processo, é correto afirmar que:

- 01. ele ocorre nos ribossomos, no interior do núcleo.
- 02. dele participam três moléculas de RNA: o ribossômico, o mensageiro e o transportador.
- 04. o RNA transportador tem como função levar as proteínas produzidas no núcleo para o citoplasma.
- 08. o ordenamento dos aminoácidos na proteína formada dá-se em função da sequência de bases nitrogenadas, presente no RNA mensageiro.
- 16. o código genético é degenerado, isto é, diferentes códons sempre especificam diferentes aminoácidos na cadeia polipeptídica.
- 32. existem códons específicos para concluí-lo.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

7. (UFF-RJ) A determinação da sequência de aminoácidos de todas as proteínas da espécie humana e de outros seres vivos é de extrema importância. A partir da sequência de aminoácidos de uma proteína, podem-se identificar as possíveis sequências de DNA que a originaram. Considere o quadro:

Aminoácidos	Representação	Códons
Asparagina	Asn	AAU AAC
Cisteína	Cys	UGU UGC
Fenilalanina	Phe	UUU UUC
Ácido glutâmico	Glu	GAA GAG
Metionina	Met	AUG
Tirosina	Tyr	UAU UAC

Com base no quadro apresentado, indique a opção que traz a sequência do DNA responsável pela síntese do peptídeo Met-Asn-Glu-Cys-Tyr-Phe.

- a) ATG — AAT — GAA — TGT — TAC — TTT
- b) ATG — AAC — GAA — TTC — TAC — TTT
- c) ATC — AAT — GAA — TGT — TAC — TTT
- d) ATG — AAT — GCC — TGT — TAC — TTC
- e) ATC — AAT — GAA — TGT — TAC — TTC

8. (PUC-RS) Nas bactérias, a tradução do RNA mensageiro começa imediatamente após sua síntese ou até mesmo antes de ela ser completada. Este fato decorre basicamente da ausência, neste grupo de seres vivos, de:

- a) parede celular.
- b) membrana plasmática.
- c) vacúolos digestivos.
- d) membrana nuclear.
- e) ribossomos citoplasmáticos.



QUESTÕES DISCURSIVAS

Utilize o texto abaixo para responder às questões 1 e 2.

O experimento clássico de Meselson e Stahl, em 1957, demonstrou que a replicação do DNA era semiconservativa, ou seja, cada fita do DNA serve de molde para sua própria duplicação, formando moléculas de DNA idênticas à original. Nesse experimento, os cientistas cultivaram células de *Escherichia coli* inicialmente em presença de fonte de ^{14}N (isótopo de nitrogênio leve), trocando, a seguir, por ^{15}N (isótopo pesado), que é incorporado às bases nitrogenadas do DNA. Colheram, então, amostras de DNA após a primeira e a segunda gerações de células crescidas em ^{15}N e analisaram essas amostras quanto à densidade do DNA formado.

Considere como **pesado** o DNA dupla-hélice marcado com ^{15}N ; como **leve** o marcado com ^{14}N ; como **intermediário** o marcado com ^{14}N e ^{15}N .

1. (UERJ) Justifique por que, após a troca da fonte de nitrogênio, a primeira geração de células foi totalmente constituída com DNA dupla-hélice do tipo **intermediário**.

2. (UERJ) Calcule as proporções dos três tipos de DNA dupla-hélice — **leve**, **intermediário** e **pesado** — formados em células da segunda geração, após a troca da fonte de nitrogênio.

3. (Unicamp-SP) Comente a frase: “Cromossomos e cromatina são dois estados morfológicos dos mesmos componentes celulares de eucariotos”.

4. (UFPA) Uma cadeia de RNA foi produzida tendo como molde o filamento de DNA esquematizado abaixo:

— G A C A T G A C G A G C T A T —

Pergunta-se:

- a) Qual é a sequência de bases neste RNA?
- b) Quais os códons que este RNA possui?
- c) Quantos aminoácidos constituirão a proteína produzida a partir desta molécula de RNA?

5. (Unicamp-SP) Em um segmento de DNA que codifica determinada proteína, considere duas situações:

- a) um nucleotídeo é suprimido;
- b) um nucleotídeo é substituído por outro.

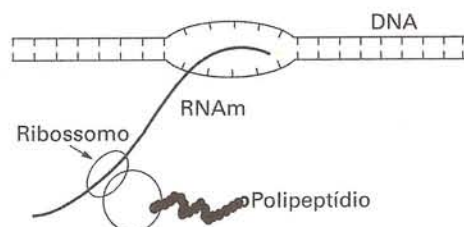
A situação **a**, geralmente, é mais drástica que a situação **b**. Explique por quê.

6. (UFCE) A análise química da molécula de fita dupla de DNA de uma determinada bactéria mostrou a presença de 15% de **citossina**. Baseado nessa informação, calcule o valor porcentual esperado para as bases **guanina**, **timina** e **adenina** na molécula citada.

7. (Unicamp-SP) Ribossomos são formados por RNA e proteínas, sintetizados pelos processos de transcrição e tradução, respectivamente.

- a) Onde esses processos ocorrem na célula eucariótica?
- b) O que acontecerá com os processos de transcrição e tradução se ocorrer uma inativação na Região Organizadora do Nucléolo? Justifique.

8. (Fuvest-SP) O desenho mostra a síntese de um polipeptídeo a partir da molécula de DNA, num certo organismo. Esse organismo é um procaríoto ou um eucarioto? Por quê?



As divisões celulares

1. Introdução

Nos eucariontes existem dois tipos de divisão celular:

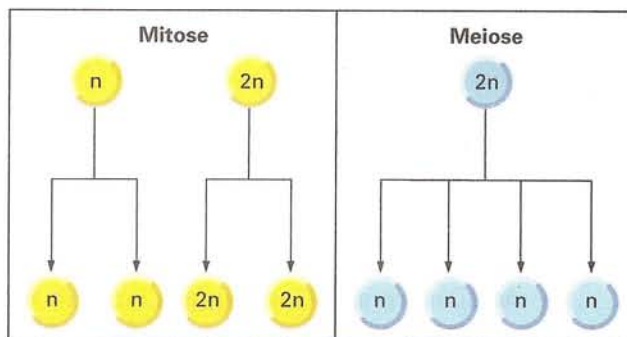
- **mitose** — uma célula dá origem a duas outras com o mesmo número de cromossomos da célula inicial. É o tipo de divisão realizado quando há reprodução assexuada; é importante no crescimento do organismo e na regeneração de tecidos dos multicelulares;
- **meiose** — uma célula dá origem a outras quatro, cada uma com a metade do número de cromossomos da célula inicial. É o processo pelo qual geralmente se formam os gametas, células relacionadas com a reprodução sexuada.

Tomando como base o número de cromossomos, consideramos dois tipos de célula: as diplóides e as haplóides.

Diplóides são células nas quais os cromossomos ocorrem aos pares, sendo representadas por $2n$; **haplóides** são as que não possuem pares de cromossomos, sendo representadas por n .

Nas células diplóides, os cromossomos de cada par possuem a mesma sequência de genes, sendo denominados **cromossomos homólogos**. O lugar que cada gene ocupa no cromossomo é chamado **lócus** (ou *locus*) **gênico**. Assim, os cromossomos homólogos possuem a mesma sequência de lócus gênico.

Na mitose, uma célula $2n$ dá origem a duas células $2n$, ou uma célula n dá origem a duas células n . Na meiose, uma célula $2n$ origina quatro células n .

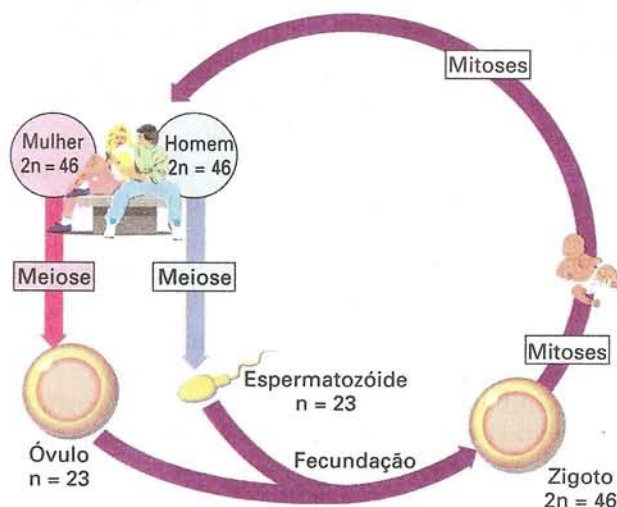


Representação esquemática simplificada da mitose e da meiose.

Na espécie humana, por exemplo, as células que formam o corpo (células **somáticas**) são diplóides, e as células que se destinam à perpetuação da espécie (**gametas**) são haplóides.

Cada espécie de ser vivo possui um número específico de cromossomos em suas células. Na espécie humana, por exemplo, as células somáticas possuem 46 cromossomos cada uma, distribuídos em 23 pares de cromossomos homólogos. Ao sofrer mitose, cada célula origina duas outras com 23 pares de cromossomos homólogos, mantendo, portanto, o número de cromossomos da célula inicial.

Na formação de gametas, uma célula inicial diplóide com 46 cromossomos sofre meiose, e os cromossomos homólogos se separam. Assim, cada célula origina quatro outras com metade do número de cromossomos da célula inicial, isto é, 23 cromossomos cada uma. Quando ocorre a fecundação, um óvulo e um espermatozóide se unem, recompondo o número diplóide da espécie: 46 cromossomos ou 23 pares de homólogos.



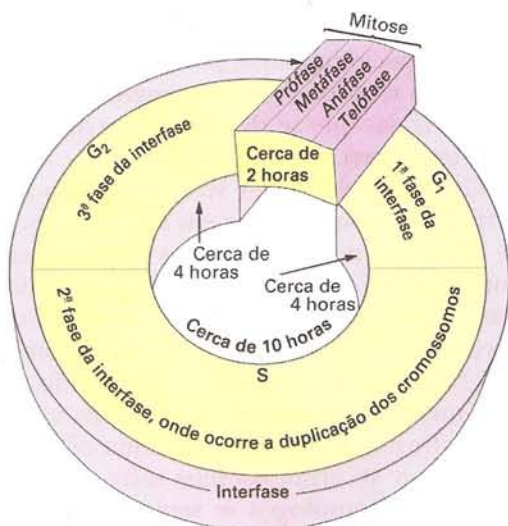
A meiose reduz o número de cromossomos à metade, dando origem a gametas com um cromossomo de cada par de homólogos. Na fecundação, os gametas se unem restabelecendo o número $2n$ típico da espécie. O zigoto sofre várias mitoses, originando um novo indivíduo. Este cresce e se reproduz sexuadamente, dando continuidade ao ciclo da vida. (Representação fora de proporção. Cores-fantasia.)

2. Ciclo celular e mitose

Uma célula não está permanentemente em mitose, isto é, não está sempre se dividindo. A maior parte da vida da célula é representada pelo período entre uma divisão e outra, chamado **interfase**.

No **ciclo celular** devem ser considerados dois momentos:

- **interfase**, em que a célula não está se dividindo;
- **mitose**, em que a célula se divide em duas.



Esquema do ciclo celular. A estimativa de duração de cada fase é apenas ilustrativa. A duração real varia de célula para célula, mas em geral a interfase é a fase mais longa.

Uma célula eucariótica na **interfase** deixa ver claramente o citoplasma e o núcleo. Durante a interfase, a célula encontra-se em sua maior atividade metabólica, podendo ser definidas três fases:

- **G₁** — não há atividade relacionada com o processo de divisão (a letra **G** deriva da palavra inglesa *gap*, que significa intervalo);
- **S** — ocorre a duplicação do DNA, fundamental para a divisão celular (a letra **S** deriva da palavra síntese, que no caso é de DNA);
- **G₂** — a síntese de DNA já se completou; é a fase que antecede a mitose.

Assim, quando a célula vai iniciar a divisão, os cromossomos duplicam-se ainda na interfase.

Embora a mitose seja contínua, ela costuma ser dividida em quatro fases para efeito de estudo: **prófase**, **metáfase**, **anáfase** e **telófase**.

A separação final das duas células resultantes é chamada **citocinese**.

2.1. Prófase

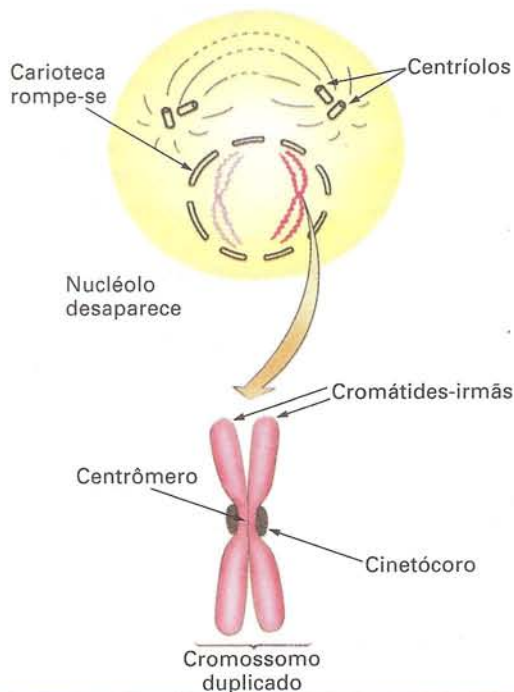
No início da prófase, os cromossomos duplicados na interfase começam a se condensar, tornando-

se individualizados e visíveis ao microscópio. Cada cromossomo duplicado é formado por dois filamentos cromossômicos idênticos, denominados **cromátides-irmãos**, que permanecem unidas por uma região chamada **centrômero**. Ao mesmo tempo, os nucléolos vão se tornando menos evidentes, até desaparecerem.

A duplicação do centro celular ocorre na interfase e é acompanhada da duplicação do centríolo, quando este está presente. A partir do centro celular, formam-se microtúbulos que se irradiam para as demais partes da célula, dando ao conjunto (centrossomo—microtúbulos que se irradiam dele) um aspecto de estrela, por isso denominado **âster** (do grego *aster* = estrela).

Inicialmente, um âster fica próximo do outro, mas aos poucos algumas de suas fibras crescem e empurram o centro celular em direção aos pólos da célula. Essas fibras maiores constituem as **fibras polares**.

No final da prófase, formam-se, na região de cada centrômero, complexos protéicos chamados **cinetócoros**. A prófase termina com o rompimento da carioteca.



Esquema da prófase e de um cromossomo duplicado. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

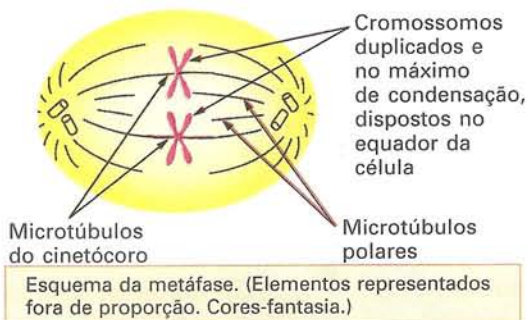
2.2. Metáfase

A metáfase começa logo após a ruptura da carioteca, quando deixa de existir limite físico entre o citoplasma e o material nuclear, permitindo que as fibras polares atinjam a região ocupada pelo núcleo.

Nessa fase alguns microtúbulos das fibras polares unem-se aos cinetócoros, formando as **fibras cromossômicas** ou **fibras do cinetócoro**. Essa união possibilita e orienta o deslocamento dos cromossomos em direção à região equatorial da célula, formando a **placa equatorial**, também chamada **placa metafásica**.

O conjunto de fibras do áster, fibras polares e fibras cromossômicas recebe o nome de **fuso mitótico**.

Os cromossomos permanecem presos às fibras do fuso e são bem visíveis nessa fase, pois atingem o máximo de condensação.



2.3. Anáfase

A anáfase inicia-se com a separação dos centrômeros, permitindo a separação completa das duas cromátides de cada cromossomo. Assim que se separam, as cromátides-irmãs passam a ser chamadas **cromossomos-irmãos**.

Os cromossomos-irmãos são encaminhados pelas fibras do fuso para pólos opostos da célula. Quando atingem essa região, termina a anáfase.

Cada pólo da célula recebe o mesmo material cromossômico, pois cada par de cromossomos-irmãos possui a mesma informação gênica; esses pa-

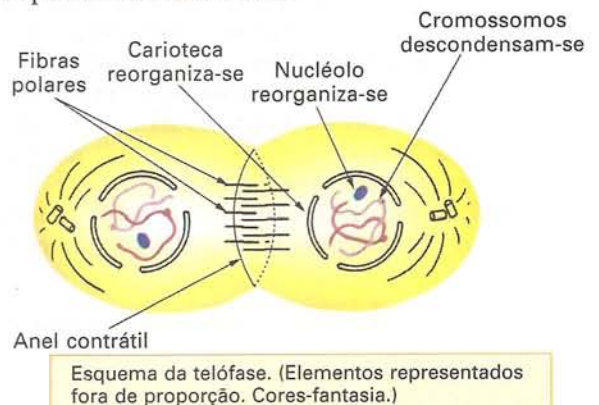
res resultam da duplicação de um mesmo cromossomo inicial.



2.4. Telófase

Na telófase, última fase da mitose, os cromossomos se descondensam, o cinetócoro e as fibras cromossômicas desaparecem, a carioteca e o nucléolo são reorganizados. Restam apenas as fibras polares, restritas ao citoplasma.

Ao final da telófase, os dois núcleos-filhos apresentam o mesmo aspecto do núcleo interfásico e fica também concluída a divisão do núcleo ou **cariocinese**. Completa-se a divisão celular com a divisão do citoplasma ou **citocinese**.



O uso da colchicina durante a divisão celular

A colchicina é uma substância utilizada experimentalmente em Citologia para interromper a mitose na metáfase, fase em que os cromossomos se encontram no máximo de sua condensação. Com isso, é possível estudar o número, a forma e o tamanho dos cromossomos das células das diferentes espécies.

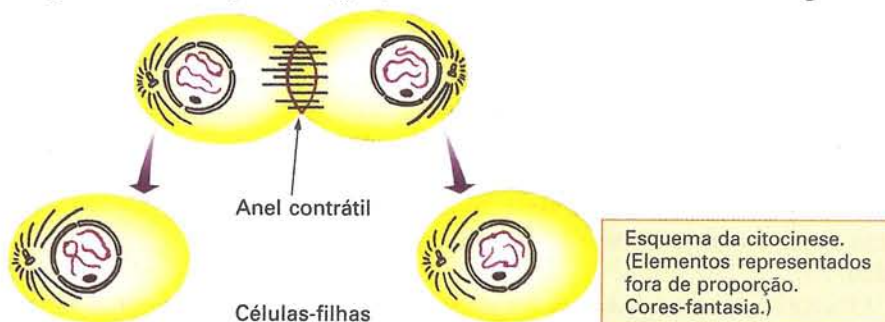
A colchicina atua especificamente sobre o fuso, impedindo que os microtúbulos se organizem. Portanto, a divisão celular progride só até a metáfase, não ocorrendo anáfase.

3. Citocinese

Na maioria dos casos, a citocinese é relacionada com a cariocinese, tendo início na telófase ou até mesmo no final da anáfase.

Nas células animais, a citocinese inicia-se por uma invaginação da membrana plasmática que, ao se completar, divide a célula em duas, totalmente individualizadas. Trata-se, portanto, de uma

citocinese **centrípeta** (de fora para dentro), possível graças à flexibilidade da membrana plasmática.

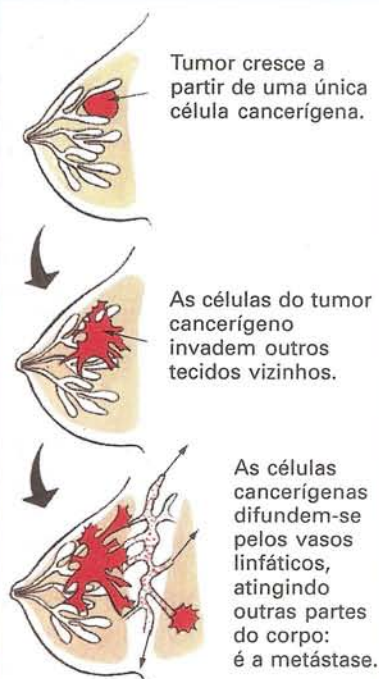


Câncer

A base biológica do câncer está fundamentada na perda da capacidade normal da célula de regular sua divisão. As células cancerígenas não param de se multiplicar. Com isso, crescem sobre outras células, invadem tecidos saudáveis e multiplicam-se muito, formando massas celulares que são os tumores malignos. Elas têm a capacidade de se espalhar pelo corpo todo, originando as chamadas metástases.

Vários fatores podem desencadear essa disfunção da capacidade de divisão das células. Existem causas genéticas e até mesmo causas virais. O câncer de mama, por exemplo, é genético; já alguns tipos de leucemia são causados por infecção viral. O câncer de colo de útero pode ser causado pelo papiloma vírus (MPV); o câncer de fígado, pelo vírus da hepatite B.

Radiação (como os raios X e ultravioleta) também pode causar câncer, o mesmo acontecendo com alguns produtos químicos. O tabaco, por exemplo, contém pelo menos 43 substâncias comprovadamente cancerígenas. Ele é responsável direto por 30% de todo o câncer existente no mundo, especialmente os que atingem pulmão, boca, laringe, esôfago, rins, fígado, pâncreas e bexiga. Substâncias cancerígenas também são encontradas nos resíduos industriais, nos pesticidas e nos conservantes de alimentos industrializados.



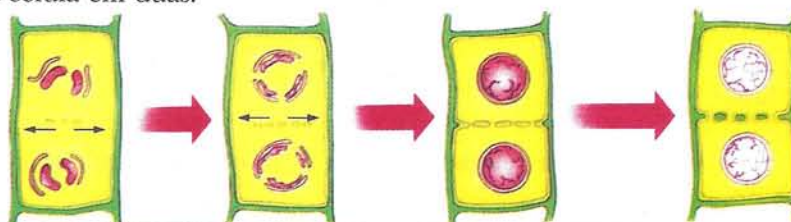
Esquema da formação e metástase do câncer de mama. (Cores-fantasia.)

4. Mitose em células vegetais

Na mitose das células de plantas floríferas, podem-se observar alguns aspectos diferentes quando comparada com a mitose das células animais. Nas células dessas plantas:

- não há centríolos (mitose acêntrica);
- não há formação de fibras do áster (mitose anastral);
- a citocinese é centrífuga (de dentro para fora).

Nas células dessas plantas, a citocinese centrípeta não é possível, em função da grande resistência da parede celular. A citocinese é, então, centrífuga: forma-se uma lamela que cresce do centro para a periferia, separando cada célula em duas.



Esquema do final da mitose em célula vegetal vista em corte. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

5. Meiose

A meiose garante a existência de uma fase haplóide no ciclo de vida, que tem a fase diplóide restabelecida por meio da fecundação. Sem meiose, a reprodução sexuada não seria possível.

Existem diferenças quanto ao momento do ciclo de vida em que ocorre a meiose. O ciclo de vida começa a partir da fecundação, podendo ocorrer meiose:

- logo após a fecundação (**meiose inicial** ou **zigótica**);
- no meio do ciclo (**meiose intermediária**);
- no final do ciclo (**meiose final**).

A meiose inicial ou zigótica ocorre no ciclo de vida de algumas algas, protistas e fungos. Os indivíduos são haplóides e apenas o zigoto é diplóide.

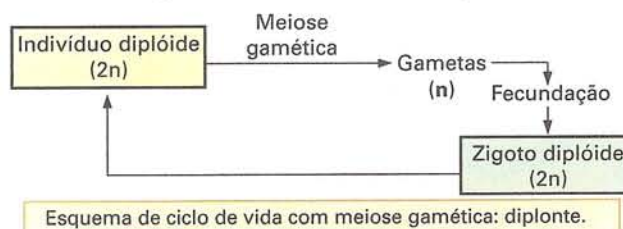


A meiose intermediária ou esporica ocorre no ciclo de vida das algas multicelulares e das plantas. O produto da meiose são células que se diferenciam em **esporos**. Estes dão origem à fase haplóide do ciclo, que forma, por mitose, gametas ou outras estruturas relacionadas com a reprodução sexuada. Após a fecundação, reinicia-se o ciclo com a fase diplóide.

Dessa maneira, há **alternância de gerações**, também chamada **metagênese**, em que uma fase diplóide formadora de esporos por meiose se alterna com uma fase haplóide, relacionada com a reprodução sexuada, formadora de gametas por mitose.



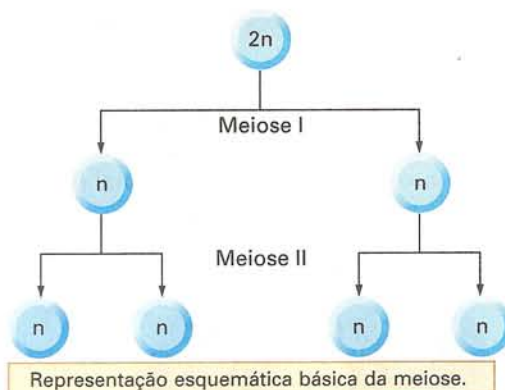
Em animais e em muitos protistas a meiose é gamética ou final, pois ocorre na formação dos gametas. Havendo fecundação, os indivíduos resultantes são diplóides.



Neste capítulo, daremos ênfase à meiose gamética que ocorre nos animais.

Na meiose acontecem duas divisões celulares sucessivas, dando origem a quatro células. Essas divisões são reunidas em duas etapas, denominadas **primeira divisão meiótica** e **segunda divisão meiótica**, ou **meiose I** e **meiose II**, respectivamente.

A meiose I é **reducional** (reduz à metade o número de cromossomos); a meiose II é **equacional** (o número de cromossomos das células que se dividem é mantido igual nas células que se formam).



As fases das duas etapas da meiose são:

- **meiose I**: prófase I, metáfase I, anáfase I, telófase I;
- **meiose II**: prófase II, metáfase II, anáfase II, telófase II.

Vamos agora analisar cada uma dessas fases.

5.1. Prófase I

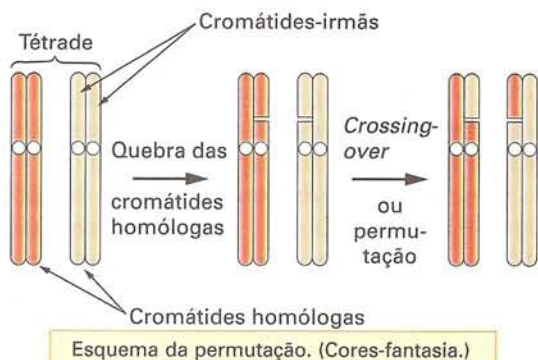
Essa fase da meiose I é dividida em cinco subfases consecutivas: **leptóteno**, **zigóteno**, **paquíteno**, **diplóteno** e **diacinese**. Não nos deteremos nas descrições dessas subfases, mas sim na descrição da prófase I como um todo.

Na prófase I, os cromossomos já duplicados na interfase iniciam a condensação, que só atinge seu máximo no final da metáfase I.

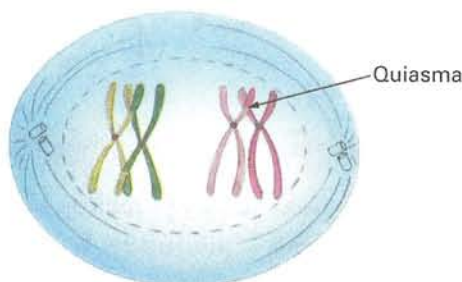
Os cromossomos homólogos duplicados emparelham-se. Com o emparelhamento e a acentuada condensação, é possível notar claramente que cada par de cromossomos homólogos possui quatro cromátides. Essas cromátides constituem uma **tétrade** e podem ser consideradas em dois grupos:

- **cromátides irmãs**, que se originam de um mesmo cromossomo;
- **cromátides homólogas**, que se originam de cromossomos homólogos.

Duas cromátides homólogas podem sofrer uma ruptura na mesma altura e os dois pedaços podem trocar de lugar, realizando o que se denomina **permutação** ou **crossing-over**.

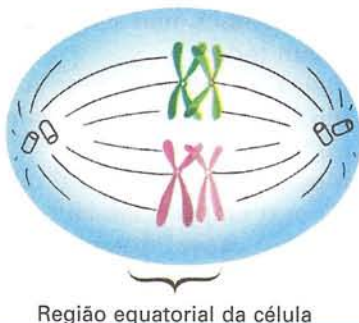


Até o final da metáfase I e início da anáfase I essas cromátides ficam unidas pelos pontos onde houve permutação. Essas regiões chamam-se **quiasmas**. O rompimento da carioteca marca o final da prófase I e o início da metáfase I.



5.2. Metáfase I

Na metáfase I, as fibras polares passam a ocupar a região correspondente ao núcleo. Aos cinetócoros associam-se as **fibras cromossômicas**, e os cromossomos passam a ocupar a região equatorial da célula.



Os cromossomos duplicados e emparelhados permanecem dispostos no equador da célula, com seus maiores eixos perpendiculares ao eixo das fi-

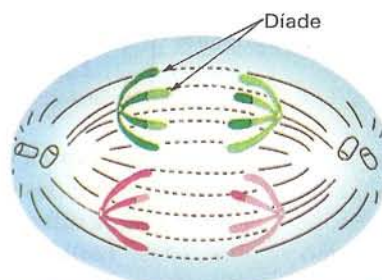
bras polares. Os cromossomos atingem o máximo de condensação e os quiasmas mantêm os cromossomos homólogos unidos.

5.3. Anáfase I

A anáfase I caracteriza-se pelo deslocamento dos cromossomos para os pólos da célula. O par de cromossomos homólogos separa-se, indo para cada pólo um cromossomo duplicado de cada par.

É importante salientar que **não** ocorre separação do centrômero, como acontece na anáfase da mitose. Essa é uma importante diferença entre a mitose e a meiose.

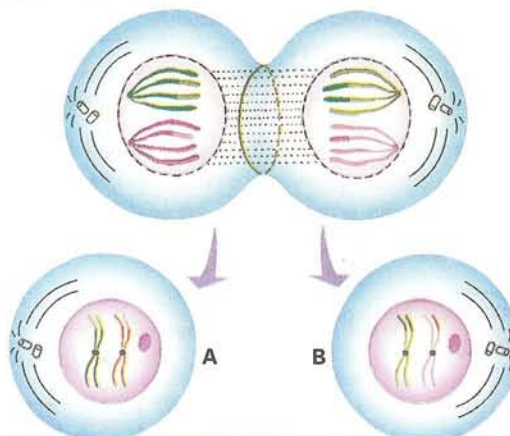
Além disso, ao final da anáfase da mitose há **2n** cromossomos não-duplicados em cada pólo da célula, enquanto na meiose I encontram-se **n** cromossomos duplicados, em que duas cromátides-irmãs estão ligadas pelo centrômero, recebendo o nome de **díades**.



5.4. Telófase I

Quando as díades chegam aos pólos termina a anáfase I e tem início a telófase I.

O que ocorre nesta fase da meiose é bastante semelhante ao que acontece na telófase da mitose: os cromossomos desespiralizam-se, a carioteca e o nucléolo reorganizam-se e ocorre a citocinese.

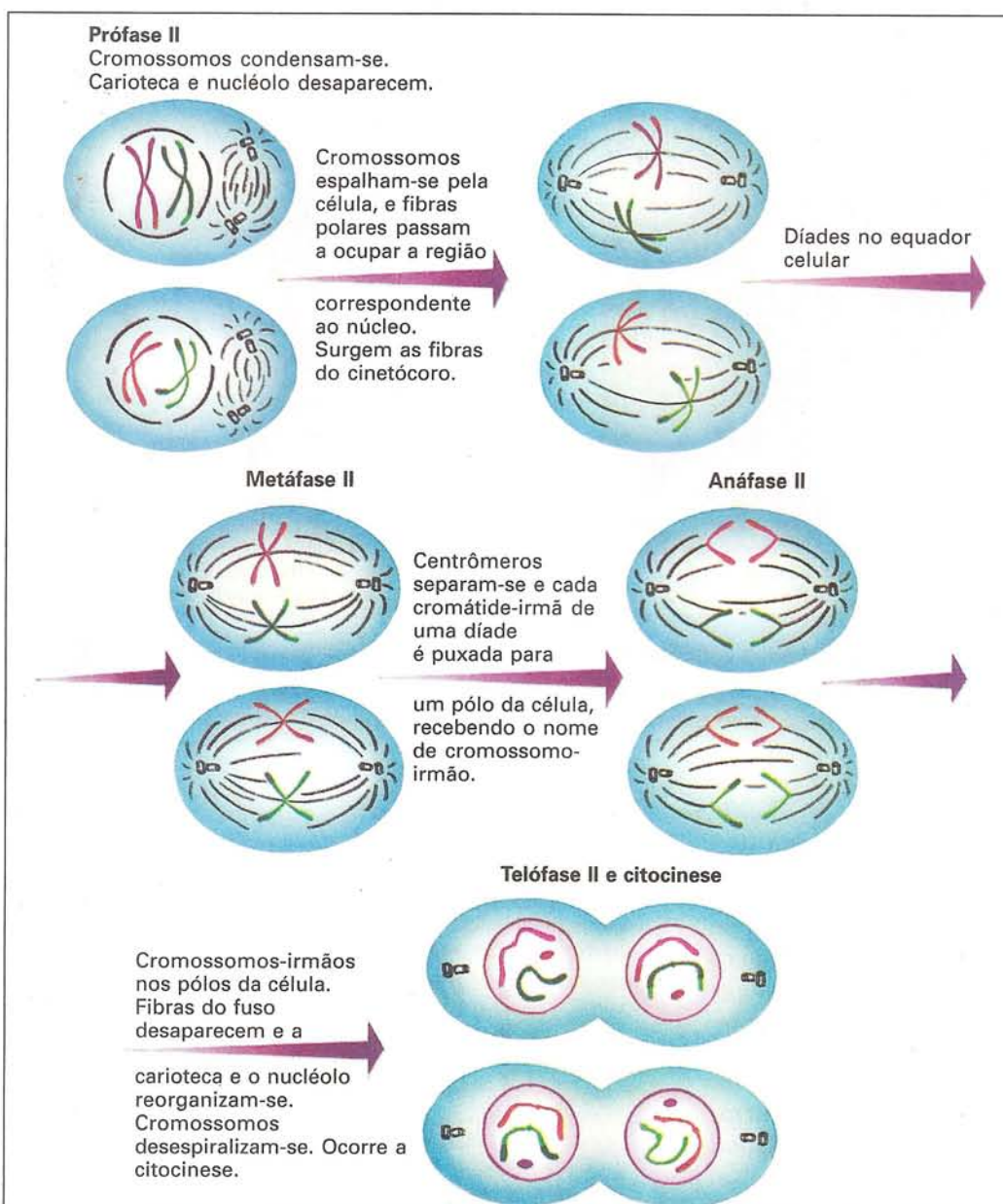


RESUMO COMPARATIVO DAS FASES DA MITOSE (M) COM AS DA MEIOSE I (R!)

Fases	Mitose	Meiose I
Prófase	Cromossomos homólogos não se emparelham.	Cromossomos homólogos emparelham-se.
Metáfase	Placa equatorial formada pelos cromossomos duplicados e não-emparelhados.	Placa equatorial formada pelas tétrades (pares de homólogos duplicados e emparelhados).
Anáfase	Ocorre a separação dos centrômeros.	Não ocorre a separação dos centrômeros.
Telófase	Em cada pólo da célula encontram-se $2n$ cromossomos não-duplicados.	Em cada pólo da célula encontram-se n cromossomos duplicados: são as díades.

Cada uma das células haplóides formadas pela meiose I sofre uma segunda divisão, que é a **meiose II** ou **segunda divisão meiótica**. Nessa divisão ocorre a separação das cromátides-irmãs. Cada uma delas dirige-se para um pólo diferente e passa a ser denominada **cromossomo-irmão**.

As fases da meiose II são **prófase II**, **metáfase II**, **anáfase II** e **telófase II**, e estão resumidas na figura a seguir.



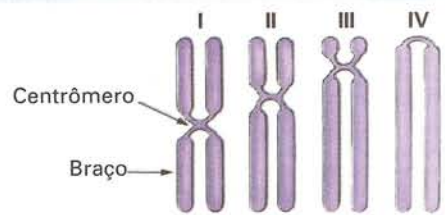
Esquema da visão geral da meiose II. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

Tipos de cromossomos e cariótipos

Quando os cromossomos atingem o máximo de condensação, é possível classificá-los em quatro tipos básicos, dependendo da localização do centrômero, como mostra a figura ao lado.

Fotografando os cromossomos, é possível obter o **cariótipo** de um indivíduo, a partir do qual podem ser observados o tamanho, a forma e o número de cromossomos de suas células. Para isso, interrompe-se a divisão celular na metáfase, fase em que os cromossomos apresentam o máximo de condensação.

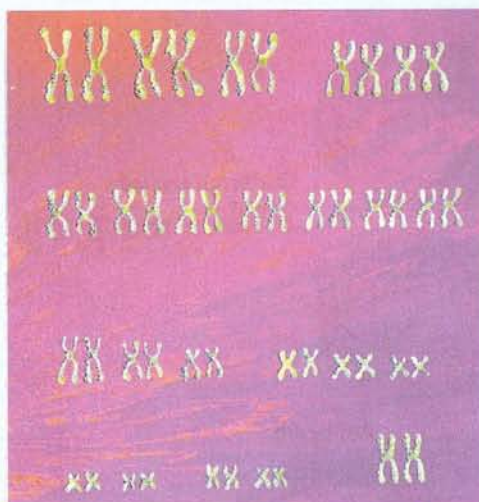
As figuras a seguir exemplificam os cariótipos de homem e de mulher. Analisando-as verifica-se que, dos 23 pares de cromossomos, 22 são semelhantes em ambos os sexos. Eles recebem o nome de **autossomos**. O último par é diferente em cada sexo, e os cromossomos são chamados **sexuais**. A mulher possui dois cromossomos sexuais idênticos entre si, chamados **cromossomos X**. O homem possui um cromossomo **X** e outro muito diferente, que recebe o nome de **cromossomo Y**.



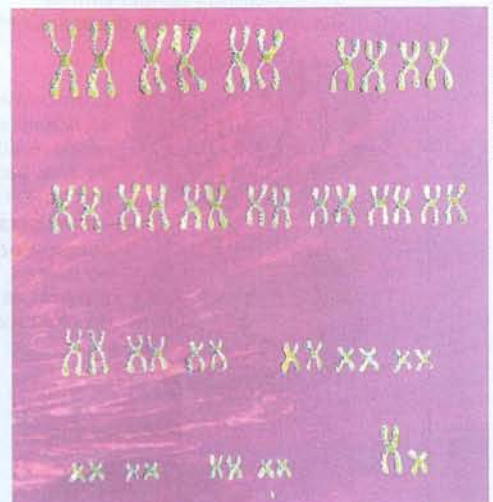
Tipos de cromossomos:

I — metacêntrico III — acrocêntrico
II — submetacêntrico IV — telocêntrico

Esquema dos diferentes tipos de cromossomo. Na espécie humana não ocorre o tipo telocêntrico. (Cores-fantasia.)



Esquema de cariótipo humano do sexo feminino. (Cores-fantasia.)



Esquema de cariótipo humano do sexo masculino. (Cores-fantasia.)

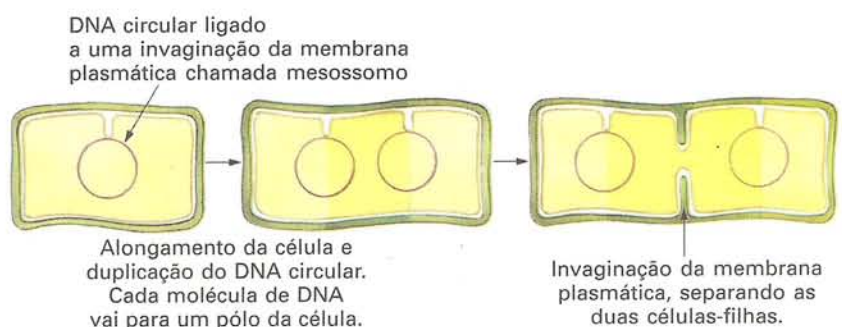
Quando se quer escrever o cariótipo especificando o sexo do indivíduo, faz-se da seguinte maneira:

- **sexo feminino:** 46, XX (46 cromossomos ao todo e dentre eles o par de cromossomos sexuais XX);
- **sexo masculino:** 46, XY (46 cromossomos ao todo e dentre eles o par de cromossomos sexuais XY).

6. A divisão celular das bactérias

Nos procariontes, a divisão celular é mais simples e não ocorre por mitose. Ela se inicia com o alongamento da célula e a duplicação do cromossomo, que é único e circular, formado apenas por uma molécula de DNA. A seguir, continua o alongamento da célula e ocorre invaginação da membrana plasmática na região mediana, separando as duas células-filhas.

Nos procariontes não há formação de gametas e não há meiose.

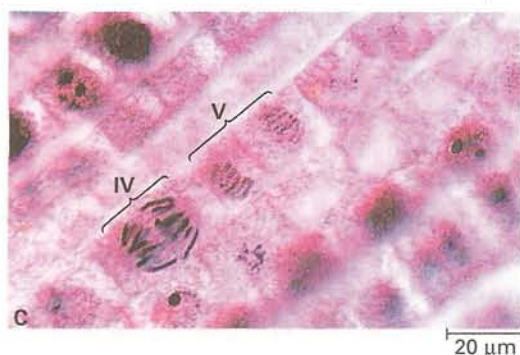
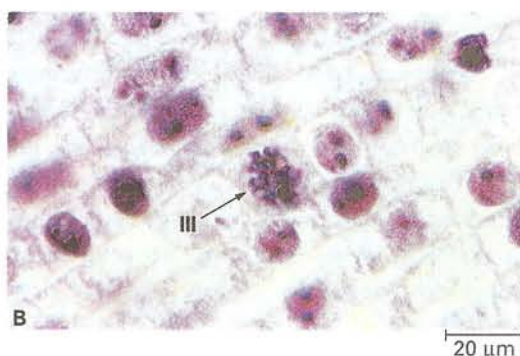
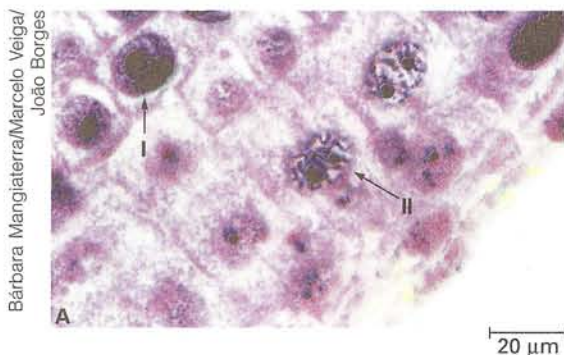


Esquema da bipartição em bactéria. (Cores-fantasia.)



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. No texto foi falado que uma das principais causas do câncer de pulmão é o fumo. Se você não fuma, parabéns. Continue assim. Se fuma, reflita se o seu comportamento é condizente com a preservação de sua saúde. Explique o que é câncer e relacione sua explicação com o conteúdo do capítulo.
2. Procure montar, juntamente com outros colegas, modelos com massa de modelar, em que serão explicadas as fases da mitose em célula animal. Ao representar a mitose, argumente por que é importante, para sua formação como pessoa, conhecer esse processo.
3. Proceda da mesma forma que a descrita na questão anterior para a meiose.
4. Estas fotos, obtidas ao microscópio de luz, são do tecido da extremidade da raiz de cebola, onde ocorrem muitas divisões mitóticas. Identifique as fases em que as células indicadas estão (interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase). Depois descreva os principais eventos de cada fase.



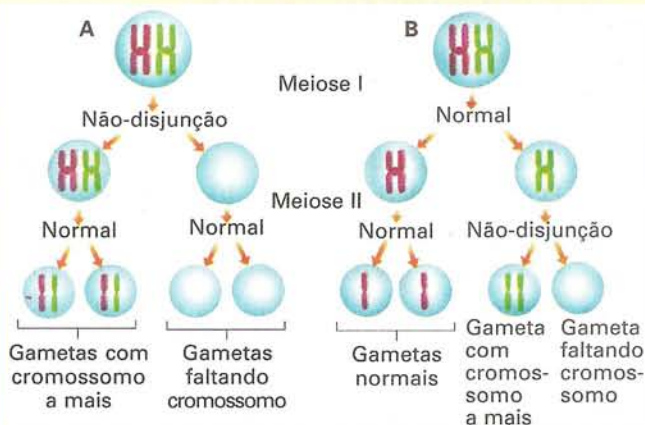
Micrografias de cortes corados de raiz de cebola mostrando fases da mitose em célula vegetal: numa mesma micrografia pode ser identificada mais de uma fase.

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Consequências da não-disjunção dos cromossomos na meiose humana

A meiose é um processo complexo, e erros na disjunção (separação) dos cromossomos homólogos na meiose I ou das cromátides-irmãs na meiose II levam à formação de gametas com número anormal de cromossomos.

Representação esquemática mostrando as possibilidades de não-disjunção na meiose. Se a não-disjunção ocorrer na meiose I (situação A), todos os gametas terão número anormal de cromossomos; se ocorrer na meiose II (situação B), apenas dois dos quatro gametas serão anormais. (Cores-fantasia.)



Se um desses gametas for fecundado por um gameta normal, será formado um zigoto com número anormal de cromossomos. Essas alterações no número de cromossomos são chamadas **aneuploidias** e são consideradas mutações cromossômicas numéricas.

Nas aneuploidias pode haver um número maior ou menor de cromossomos. Por exemplo: quando há um cromossomo a mais, totalizando 47 cromossomos, fala-se em **trissomia**; quando há um cromossomo a menos, totalizando 45 cromossomos, fala-se em **monossomia**.

A alteração pode acontecer nos cromossomos sexuais, que são os relacionados com a determinação do sexo, ou nos demais cromossomos, chamados autossômicos. Quando a alteração envolve os autossomos, a anomalia não está relacionada ao sexo, podendo ocorrer tanto no sexo feminino quanto no masculino. Quando ocorre nos cromossomos sexuais, as anomalias estão relacionadas ao sexo.

Vamos comentar algumas dessas aneuploidias.

- **Síndrome de Down** ou **mongolismo** — os indivíduos possuem um cromossomo a mais no par 21 (trissomia do 21). Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena, com a face achatada; olhos com os cantos externos puxados para cima; boca pequena, mas língua de tamanho normal; dentição irregular; pescoço curto e largo; baixa estatura; dedos curtos; linha reta na palma da mão; coeficiente intelectual baixo. Cariótipo com 47 cromossomos.
- **Síndrome de Patau** — os indivíduos possuem um cromossomo a mais no par 13 (trissomia do 13).
- Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena; olhos afastados; orelhas malformadas; defeitos sérios no coração e nos sistemas digestório, genital e urinário. Geralmente os portadores dessa síndrome sobrevivem até cerca de 3 anos de idade. Cariótipo com 47 cromossomos.
- **Síndrome de Edwards** — os indivíduos possuem um cromossomo a mais no par 18 (trissomia do 18). Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: cabeça pequena e estreita; olhos afastados; boca e queixo pequenos; pés deformados; anomalias graves no coração, nos rins e no sistema genital. Geralmente os portadores sobrevivem até cerca de 1 ano de idade. Cariótipo com 47 cromossomos.
- **Síndrome de Klinefelter** — os indivíduos possuem dois cromossomos X e um Y e são todos do sexo masculino. Alguns dos sinais clínicos são: testículos pequenos; ausência de espermatozoides e, em alguns casos, mamas mais evidentes. Cariótipo: 47,XXY (o que indica que há 47 cromossomos no total, dentre eles 2 X e 1 Y).
- **Síndrome de Turner** — os indivíduos possuem apenas um cromossomo sexual: o X. São, portanto, mulheres. Alguns dos sinais clínicos dessa síndrome são: estatura pequena; ovários não-funcionais; pescoço curto e largo; anomalias renais. Cariótipo: 45,XO (O = ausência de um cromossomo sexual).

Atualmente já existem testes que identificam, desde a oitava semana de gestação, se o bebê gerado é portador de alguma anomalia cromossômica.

- Em caso de confirmação de uma anomalia num bebê, o que você acha que deve ser feito, considerando seus valores éticos, morais e religiosos?
- Em alguns países o aborto é permitido nesses casos. No Brasil, o aborto é permitido apenas em casos excepcionais, como o de gestação decorrente de estupro e quando a gestação envolve risco de vida para a mãe.
Discuta esse assunto com seus pais, professores e amigos.
Depois de debater e amadurecer o assunto, pondere sobre:
— a importância de saber com antecedência o cariótipo do bebê;
— se você gostaria de ter essa informação a respeito do seu bebê.
- Monte modelos usando massa de modelar de diferentes cores para representar os cromossomos visando explicar a meiose normal e meioses anômalas em que não há disjunção de cromossomos. Use esses modelos para explicar como gametas anômalos podem ser formados e como as síndromes aqui mencionadas podem acontecer.



TESTES

1. (PUC-RS) Para fazer o estudo de um cariótipo, qual a fase da mitose que seria mais adequada usar, tendo em vista a necessidade de se obter a maior nitidez dos cromossomos, em função do seu maior grau de espiralização?

- a) Prófase.
- b) Pró-metáfase.
- c) Anáfase.
- d) Telófase.
- e) Metáfase.

2. (Puccamp-SP) Uma pessoa com câncer foi submetida a um tratamento quimioterápico, após o qual não houve formação de novas células tumorais.

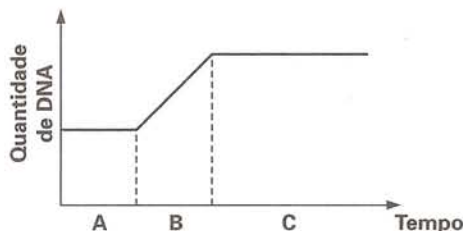
Considerando-se somente essa informação, é possível inferir que, nas células tumorais, os agentes quimioterápicos atuam sobre:

- a) a membrana plasmática, tornando-a impermeável a qualquer substância.
- b) as mitocôndrias, impedindo que realizem respiração aeróbica.
- c) os peroxissomos, bloqueando a produção de catalase.
- d) algum ponto do ciclo celular, fazendo cessar as mitoses.
- e) o ciclo celular, acelerando as mitoses.

3. (UFPI) Filmagens de divisões celulares feitas através do microscópio revelam que a mitose é um processo contínuo, com duração de aproximadamente uma hora. Indique a alternativa que mostra a seqüência correta dos eventos marcantes do processo mitótico.

- a) Telófase, anáfase, metáfase e prófase.
- b) Prófase, anáfase, telófase e metáfase.
- c) Anáfase, prófase, metáfase e telófase.
- d) Anáfase, metáfase, telófase e prófase.
- e) Prófase, metáfase, anáfase e telófase.

4. (MACK-SP) Observando o gráfico a seguir, que representa a variação da quantidade de DNA no núcleo de uma célula em função do tempo, podemos afirmar que:



- a) se trata seguramente de uma célula em mitose.
- b) A, B e C representam todas as etapas do ciclo celular.
- c) ao sofrer mitose, a quantidade de DNA nas células filhas será igual à metade da quantidade presente inicialmente.
- d) no período representado em B surgem as cromátides-irmãs.
- e) o período A é conhecido como intérfase.

5. (Fuvest-SP) Um cromossomo é formado por uma longa molécula de DNA associada a proteínas. Isso permite afirmar que o núcleo de uma célula somática humana em (A) possui (B) moléculas de DNA. Qual das alternativas indica os termos que substituem corretamente as letras A e B?

- a) A: início de intérfase (G1); B: 46.
- b) A: fim de intérfase (G2); B: 23.
- c) A: início de mitose (prófase); B: 46.
- d) A: fim de mitose (telófase); B: 23.
- e) A: qualquer fase do ciclo celular; B: 92.

6. (UFPA) A meiose é um processo de divisão celular em que o número de cromossomos é reduzido à metade nas células-filhas. A divisão reducional ocorre na:

- a) divisão I da meiose porque há a separação dos cromossomos homólogos.
- b) divisão II da meiose porque a duplicação cromossômica apenas precede a divisão I.
- c) divisão II da meiose porque as células formadas são diplóides.
- d) divisão II da meiose porque ocorre a separação das cromátides-irmãs.
- e) divisão I da meiose porque cada cromossomo está formado por duas cromátides.

7. (MACK-SP)

- I — A ocorrência de *crossing-over* durante a meiose I é um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade genética em uma espécie.
- II — O *crossing-over* ocorre na prófase I, após o pareamento dos cromossomos homólogos.
- III — Os centrômeros representam os locais onde houve a quebra e troca de fragmentos de cromossomos.
- IV — Em condições normais, não há separação de cromátides-irmãs durante a meiose I.

Estão corretas apenas as afirmações:

- a) I, II e IV.
- b) I e IV.
- c) II, III e IV.
- d) II e III.
- e) I, II e III.

8. (PUC-RJ) Durante a meiose, o pareamento dos cromossomos homólogos é importante porque garante:

- a) a separação dos cromossomos não-homólogos.
- b) a duplicação do DNA, indispensável a esse processo.
- c) a formação de células-filhas geneticamente idênticas à célula-mãe.
- d) a possibilidade de permuta gênica.
- e) a menor variabilidade dos gametas.

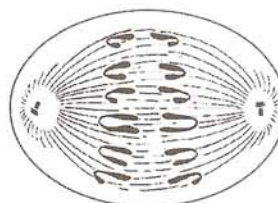


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Fuvest-SP) Quantos cromossomos existem em cada um dos seguintes tipos de células humanas normais: muscular, nervosa, espermatozóide e zigoto? Justifique a resposta.

2. (UFF-RJ) O ciclo celular é composto por dois períodos: **intérfase** e **mitose**. Faça uma tabela, colocando os estágios da intérfase e mitose. Além disso, para cada estágio, especifique se os cromossomos têm uma ou duas cromátides e se a membrana nuclear está presente ou não.

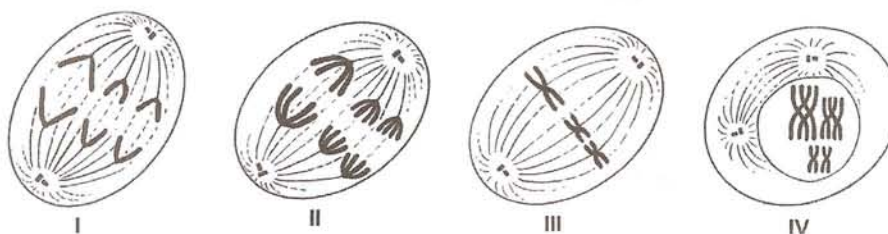
3. (Unifor-CE) A figura ao lado representa uma célula na anáfase de uma divisão mitótica. Supondo que não haja aberrações cromossômicas, qual o número n característico da espécie à qual essa célula pertence?



4. (UFRN) A colchicina é um alcalóide que inibe a divisão mitótica, impedindo a formação das fibras do fuso em uma célula. Cite e caracterize a fase que melhor permite o estudo dos cariótipos.

5. (Fuvest-SP) Cite duas diferenças entre mitose e meiose.

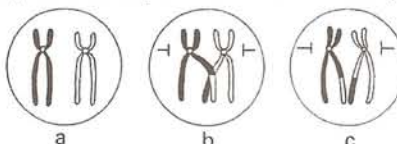
6. (UFPA) Os esquemas abaixo resultam de observações, feitas ao microscópio, de células de um determinado órgão animal e referem-se a diferentes fases de um mesmo processo de divisão celular.



Observando os esquemas, responda:

- Por qual processo de divisão celular as células esquematizadas estão passando?
- Em que fase da divisão celular se encontra cada uma das células esquematizadas?
- Qual o número cromossômico característico da espécie a que as células esquematizadas pertencem?

7. (UFMS — mod.) A sequência abaixo representa etapas da divisão celular (meiose):



- Indique o fenômeno que está ocorrendo em a, b e c.
- Em que tipo de células essa modalidade de divisão celular ocorre?
- Qual a importância, em nível genético, do fenômeno indicado em b?

UNIDADE 3

E. Krenkel/Stock Photos



Reprodução, Embriologia e Histologia



Reprodução

1. Introdução

A reprodução é uma característica de todos os seres vivos. Ela é fundamental para a manutenção da espécie, uma vez que, nas atuais condições da Terra, os seres vivos só surgem a partir de outros seres vivos iguais a eles por meio da reprodução. No nível molecular, a reprodução está relacionada com a capacidade ímpar do DNA de se du-

plicar. Como vimos, quem comanda e coordena todo o processo de divisão celular é o DNA dos cromossomos.

São vários os tipos de reprodução que os seres vivos apresentam, mas todos eles podem ser agrupados em duas grandes categorias: a reprodução assexuada e a sexuada.

2. Reprodução assexuada

Os indivíduos que surgem por reprodução assexuada são geneticamente idênticos entre si, formando o que se chama **clone**. Esses indivíduos só terão patrimônio genético diferente se sofrerem mutação, ou seja, alteração na sequência de bases nitrogenadas de uma ou mais moléculas de DNA.

Vários são os seres vivos que se reproduzem assexuadamente e vários são os tipos de reprodução assexuada.

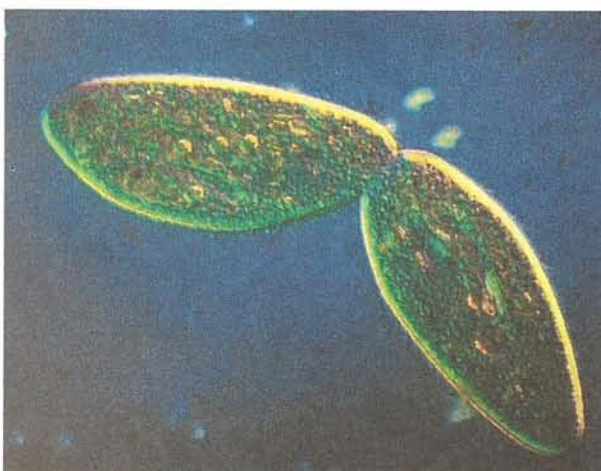
Nos eucariontes, unicelulares ou multicelulares, a reprodução assexuada está relacionada com a mitose. No caso dos unicelulares, o tipo de reprodução assexuada que lhes permite se dividir em dois é denominado **bipartição**.

O processo de bipartição também ocorre nos procariontes, mas, nesse caso, não há mitose como a verificada nos eucariontes (veja a divisão da célula bacteriana no capítulo anterior).

Nos organismos multicelulares, como as plantas, por exemplo, a reprodução assexuada pode ocorrer por **propagação vegetativa**. Nesse caso, partes da planta podem dar origem, por mitose, a outros indivíduos.

Conhecendo essa peculiaridade das plantas, o ser humano aprendeu a fazer uso dela em benefício próprio, confeccionando mudas que, cultivadas, dão origem a uma nova planta, idêntica à planta-mãe, preservando, assim, as características comercialmente importantes.

Nos animais, um dos tipos de reprodução assexuada mais frequentemente observado é o **brotamento** ou **gemiparidade**: de um indivíduo inicial brota outro indivíduo, que se destaca do primeiro e passa a ter vida independente. A hidra, um organismo aquático, é um exemplo de animal que apresenta esse tipo de reprodução.



Eric Grave/SPL

Micrografia colorida artificialmente mostrando o paramécio, um unicelular eucarionte com o corpo recoberto por cílios, em processo de bipartição. Cada célula mede cerca de 200 µm de comprimento.



SPL/Stock Photos

Micrografia de uma hidra com cerca de 1 cm de altura em processo de brotamento. O broto já está quase totalmente formado.

3. Reprodução sexuada

A reprodução sexuada está relacionada com processos que envolvem troca e mistura de material genético entre indivíduos de uma mesma espécie. Os indivíduos que surgem por reprodução sexuada assemelham-se aos pais, mas não são idênticos a eles.

Esse modo de reprodução, apesar de mais complexo e energeticamente mais custoso do que a reprodução assexuada, traz grandes vantagens aos seres vivos e é o mais amplamente empregado pelos diferentes grupos. Mesmo organismos que apresentem reprodução assexuada podem também se reproduzir sexuadamente, embora existam algumas espécies em que a reprodução sexuada não ocorre.

Se o nosso ambiente fosse completamente estável, sem sofrer alterações ao longo do tempo, a reprodução assexuada seria muito vantajosa, pois preservaria, sem modificações, as características dos organismos para uma certa condição ecológica. Essa, entretanto, não é a realidade. O meio ambiente sempre pode apresentar alterações. Sobreviver a elas depende em grande parte de o patrimônio genético conter soluções as mais variadas possíveis.

Populações formadas por indivíduos geneticamente idênticos, como os originados por reprodução assexuada, são mais suscetíveis a alterações ambientais. Se ocorrer no ambiente uma modificação que lhes seja desfavorável, todos os indivíduos podem morrer de uma só vez. Isso pode não acontecer com populações formadas por indivíduos que se reproduzem sexuadamente, pois a variabilidade genética entre eles é maior. Essa alteração ambiental pode afetar parte da população, mas outra parte sobrevive por ter em seu material genético condições para resistir à alteração.

Na agricultura, utiliza-se muito a reprodução assexuada das plantas visando à manutenção, ao longo das gerações, de características comercialmente importantes. O uso desse recurso, no entanto, permite que culturas inteiras possam ser dizimadas caso ocorra no meio alguma alteração que prejudique esses organismos.

Nos animais, a reprodução sexuada envolve a meiose, cujos produtos são sempre os gametas, células reprodutivas haplóides. Os gametas masculinos são os espermatozóides e os femininos, os óvulos.

Na maioria dos animais, os espermatozóides são produzidos pelo indivíduo do sexo masculino e os óvulos são produzidos pelo indivíduo do sexo feminino. Nesses casos, os **sexos** são **separados**. Alguns animais, no entanto, como é o caso das minhocas, são **hermafroditas**, pois óvulos e espermatozóides são produzidos pelo mesmo indivíduo.

Nos hermafroditas pode ocorrer **autofecundação**, ou seja, a fecundação do óvulo pelo espermatozóide do mesmo indivíduo. Entretanto, geralmente existem mecanismos que impedem a autofecundação. Nesses casos, os óvulos de um indivíduo são fecundados pelos espermatozóides de outro indivíduo da mesma espécie. Fala-se, então, em **fecundação cruzada**.

A **fecundação** pode ser **externa**, quando ocorre fora do corpo, no meio ambiente, ou **interna**, quando ocorre no corpo do indivíduo que produz os óvulos.

O custo energético da produção de gametas é especialmente grande nas espécies cuja fecundação é externa. Nesses casos formam-se muitos gametas femininos e masculinos, o que garante a chance de encontro casual entre eles, originando maior número de zigotos. Porém, desses inúmeros zigotos, nem todos sobrevivem às adversidades do meio ambiente. Apenas um pequeno número forma indivíduos adultos, dando continuidade à espécie.

Nos animais em que a fecundação é interna, o custo energético na produção de gametas é menor e o custo com o desenvolvimento do embrião varia dependendo de o animal ser ovíparo, ovovivíparo ou vivíparo.

Animais **ovíparos** botam ovos e o desenvolvimento embrionário deles ocorre principalmente fora do corpo materno. Os embriões dependem de material nutritivo presente nos ovos. Como exemplo de animal ovíparo podem-se citar as aves.

Animais **ovovivíparos** retêm os ovos dentro do corpo até a eclosão, e os embriões também se alimentam das reservas nutritivas presentes no ovo. Depois da eclosão, os filhotes são liberados para fora do corpo materno. Como exemplo de animal ovovivíparo temos os lebstes, que são peixes comuns em água doce.

Nos **vivíparos** o embrião depende diretamente da mãe para sua nutrição, que ocorre por meio de trocas fisiológicas entre mãe e feto. Não existe casca isolando o ovo. Como regra, o desenvolvimento embrionário completa-se dentro do corpo materno e os indivíduos já nascem formados. O custo energético é especialmente alto, pois as fêmeas investem energia na nutrição e no desenvolvimento do embrião dentro de seus corpos. Nos casos dessas espécies, forma-se um menor número de embriões, mas eles têm maiores chances de sobrevivência. É vivípara, por exemplo, a maioria dos mamíferos, como é o caso da espécie humana.

Vamos, agora, falar um pouco sobre espermatozóides e óvulos nos animais.

4. Espermatozoides

Os espermatozoides são geralmente células muito menores do que os óvulos e estão estruturados de modo a permitir o máximo de eficiência de deslocamento, o que aumenta a chance de eles chegarem ao óvulo. São células pequenas, alongadas, com formato hidrodinâmico e com uma longa cauda que é utilizada na propulsão.

Apesar de a imensa maioria dos espermatozoides dos animais ser flagelada, existem espermatozoides que não possuem flagelo. É o caso dos espermatozoides dos nematódeos, animais vermiformes cujo representante mais conhecido é a lombriga (*Ascaris lumbricoides*), um parasita do intestino humano.

Os espermatozoides variam muito em tamanho e forma entre as diferentes espécies, mas todos são haplóides.

1 — Espermatozoide de caracol (gastropode)

2 — Espermatozoide de *Ascaris* (nematoda)

3 — Espermatozoide de salamandra (anfíbio)

4 — Espermatozoide de sapo (anfíbio)

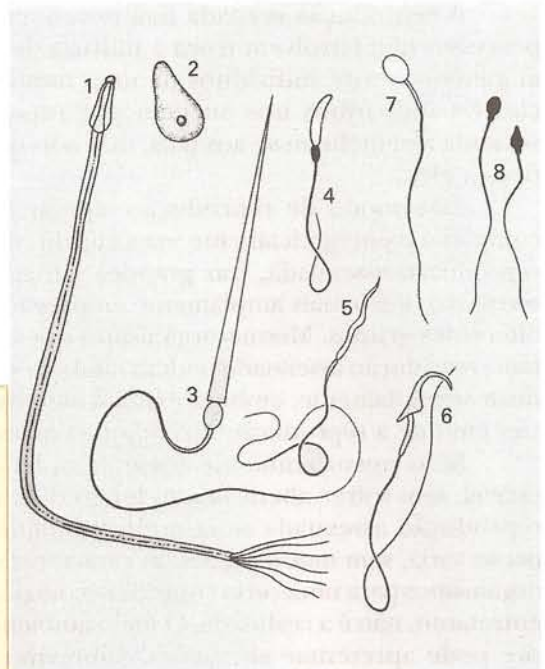
5 — Espermatozoide de galo (ave)

6 — Espermatozoide de rato (mamífero)

7 — Espermatozoide de carneiro (mamífero)

8 — Espermatozoide do homem (mamífero)

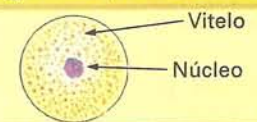
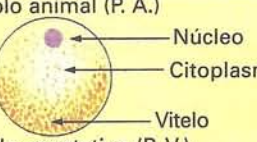
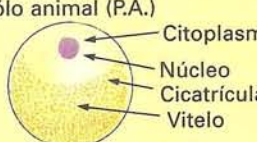
Desenhos fora de proporção, feitos com base em análise ao microscópio de luz.

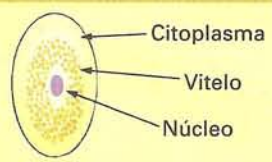
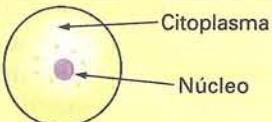


5. Óvulos

Os óvulos dos animais são geralmente células grandes e imóveis, que contêm em seu interior reserva de nutrientes para o desenvolvimento do embrião. Esses nutrientes compõem o vitelo.

A quantidade e a localização do vitelo são variáveis nos diferentes óvulos. Essas duas características permitem-nos classificá-los em vários tipos:

Tipos de óvulo	Esquemas (cores-fantasia)
Isolécitos ou oligolécitos Possuem pouco vitelo, homogênea ou quase homogeneamente distribuído pelo citoplasma. Ocorrência: equinodermos e cefalocordados (anfioxo).	 Vitelo Núcleo Mede cerca de 0,1 mm de diâmetro.
Heterolécitos Possuem muito vitelo distribuído de modo desigual na célula, estabelecendo-se uma região celular chamada pólo animal, onde há pouco vitelo e o núcleo, e outra chamada pólo vegetativo, rica em vitelo. Ocorrência: anfíbios e alguns peixes.	 Pólo animal (P. A.) Núcleo Citoplasma Vitelo Pólo vegetativo (P. V.) Mede cerca de 2 mm de diâmetro.
Telolécitos São óvulos grandes, com muito vitelo distribuído de modo desigual na célula, havendo nítida separação entre uma pequena região do citoplasma sem vitelo, onde está o núcleo (pólo animal), e uma grande região do citoplasma em que há vitelo (pólo vegetativo). Ocorrência: répteis, aves e alguns peixes.	 Pólo animal (P.A.) Citoplasma Núcleo Cicatrícula Vitelo Pólo vegetativo (P.V.) Mede cerca de 4 cm de diâmetro em galinhas.

Tipos de óvulo	Esquemas (cores-fantasia)
Centrolécitos Neles, o vitelo ocupa praticamente toda a célula, reduzindo a porção do citoplasma sem vitelo a uma pequena região na periferia da célula e junto ao núcleo. Ocorrência: insetos.	 Citoplasma Vitelo Núcleo Mede cerca de 70 μm de comprimento.
Alécitos Semelhantes aos oligolécitos, mas praticamente sem vitelo. Muitas vezes são classificados como oligolécitos ou isolécitos. Ocorrência: maioria dos mamíferos.	 Citoplasma Núcleo Mede cerca de 0,1 mm de diâmetro.

6. Gametogênese

A reprodução sexuada começa com a formação dos gametas, processo denominado **gametogênese** (*genesis* = formação, origem). A gametogênese ocorre nas **gônadas**, órgãos especializados para essa função.

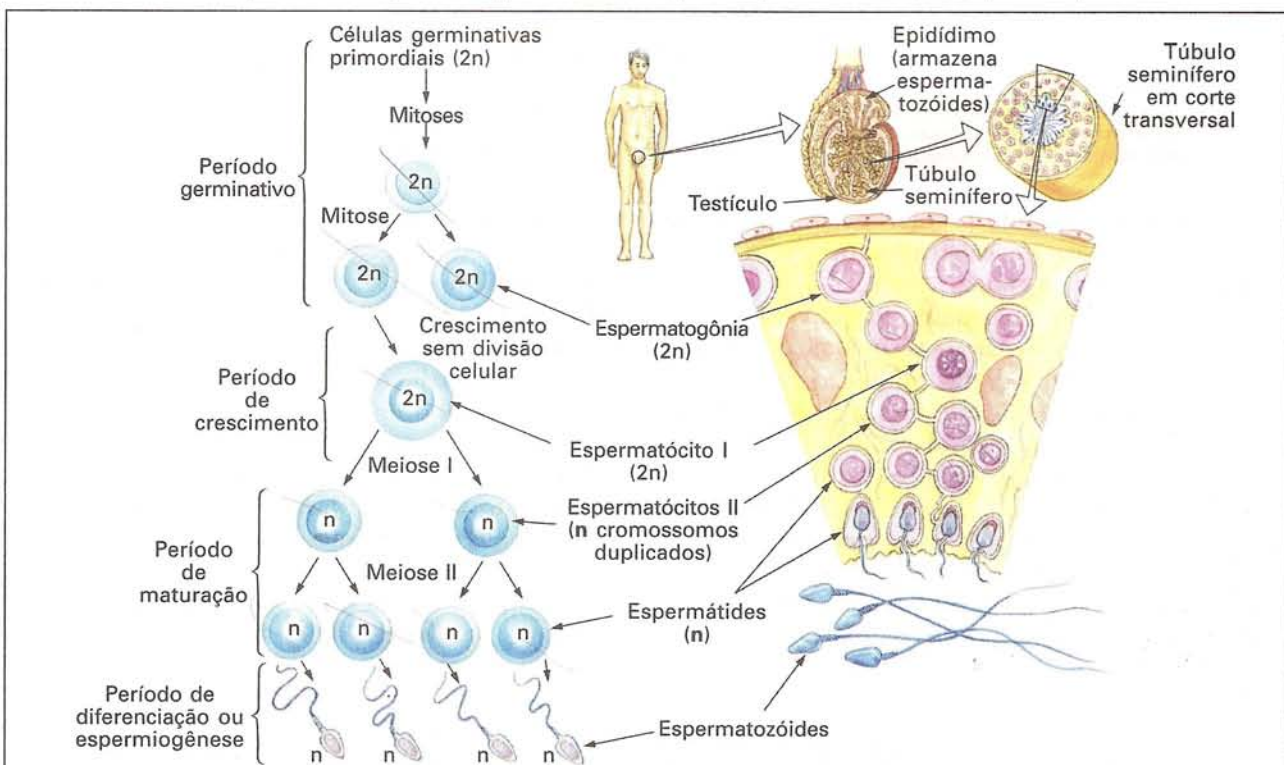
Como são dois os tipos de gameta, existem dois tipos de gametogênese: a **espermato gênese**, que é o processo de formação dos espermatozoides, e a **ovogênese** ou **ovulogênese**, que é o processo de formação de óvulos.

Os espermatozoides são formados nas gônadas masculinas (**testículos**) e os óvulos, nas gônadas femininas (**ovários**).

Vamos analisar, como exemplo de gametogênese nos animais, a gametogênese humana.

6.1. Espermatogênese

Observe o esquema da espermatogênese e acompanhe pelo texto a descrição do processo:



Esquema que correlaciona as fases da espermatogênese com a histologia do túbulo seminífero. Os espermatozoides medem cerca de 60 μm de comprimento. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

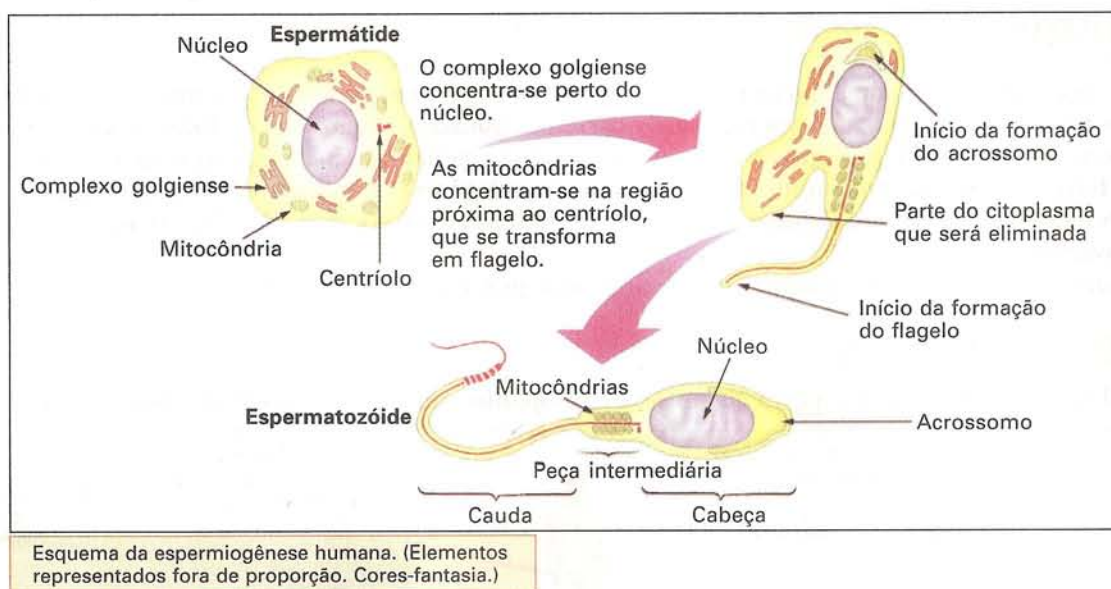
A espermatogênese inicia-se já durante o desenvolvimento embrionário. Nos testículos do embrião, células diplóides denominadas **células germinativas primordiais** passam a sofrer sucessivas divisões mitóticas, dando origem a várias **espermatogônias**. Estas continuam a se dividir por mitose durante toda a vida do homem, sendo, no entanto, um processo lento até ele atingir a puberdade. Depois, intensifica-se muito, declinando novamente na velhice.

A partir da puberdade, que geralmente ocorre entre os 13 e os 16 anos de idade nos homens, essas espermatogônias iniciam intensa proliferação por mitose, aumentando em número. No entanto, algumas espermatogônias não permanecem nesse processo de intensa divisão mitótica, seguindo outro caminho: passam por modificações, aumentam

de tamanho e diferenciam-se, formando outro tipo celular diplóide, denominado **espermatócito primário** ou **espermatócito I**.

Os espermatócitos I entram em meiose e ao final da meiose I formam-se os **espermatócitos secundários** ou **espermatócitos II**, que são células haplóides com n cromossomos duplicados. Estas células entram em meiose II e dão origem às **espermátides**, que também são células haplóides. Inicia-se agora uma fase sem divisão celular, denominada **espermio gênese**, em que as espermátides se transformam em **espermatozoides**. De cada espermatócito I formam-se quatro espermatozoides.

Na espermio gênese, os espermatócitos II passam por profundas modificações, como resumido na figura a seguir.



O espermatozoide já diferenciado pode ser dividido em três regiões: cabeça (ou peça principal), peça intermediária e cauda.

Na **cabeça** do espermatozoide situam-se o **núcleo** e o **acrossomo** ou **capuz acrossômico**. Esse capuz é uma transformação do complexo golgiense e é onde estão as enzimas que irão digerir os envoltórios do ovócito II na fecundação.

A **peça intermediária** apresenta muitas mitocôndrias, responsáveis pela liberação da energia necessária à movimentação do espermatozoide. A peça intermediária é uma região especializada da **cauda**. Esta é um flagelo modificado, responsável pelo deslocamento do espermatozoide.

6.2. Ovogênese ou ovulogênese

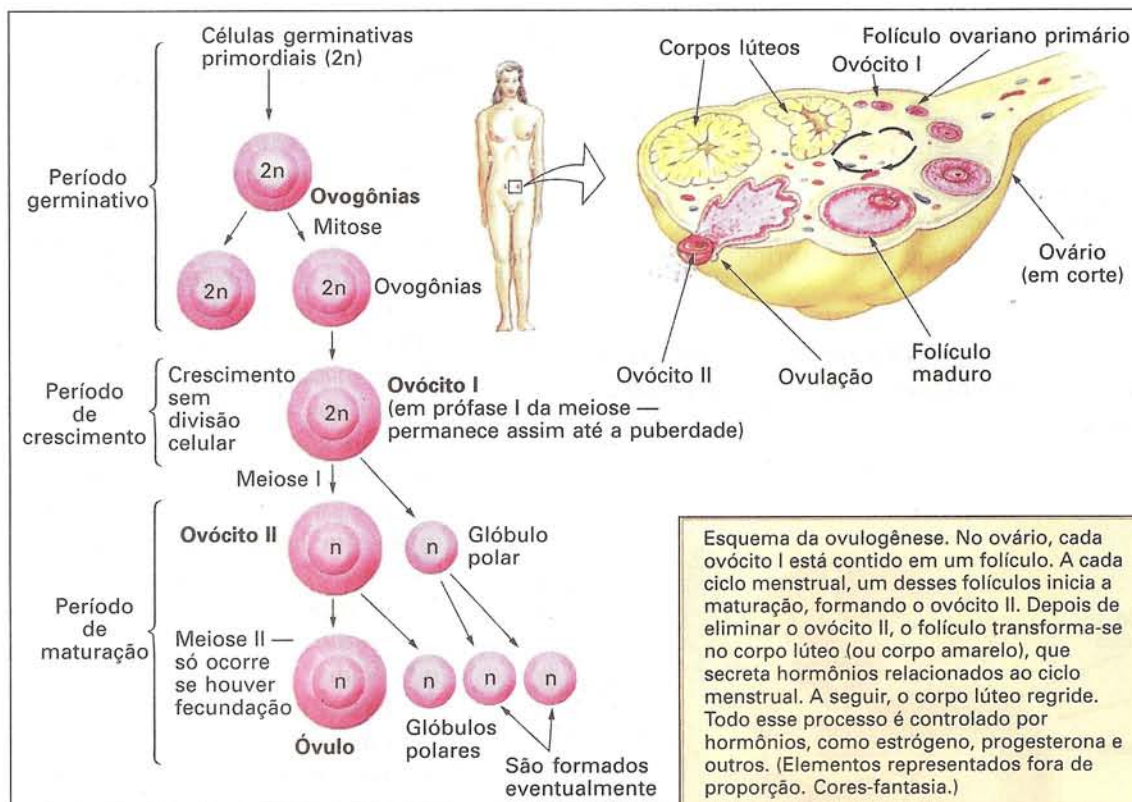
O esquema da ovogênese ou ovulogênese está representado na página seguinte. Analise-o e acompanhe a descrição do processo pelo texto.

A ovulogênese inicia-se ainda no período embrionário. **Células germinativas primordiais** ($2n$) do ovário dividem-se por mitoses sucessivas, formando várias **ovogônias** (ou **oogônias**) diplóides. Estas também sofrem várias mitoses, formando novas ovogônias. Algumas delas começam a aumentar muito em tamanho, entrando no **período de crescimento**. Formam-se assim os **ovócitos** (ou **oócitos**) **primários** ou **ovócitos I**, devido à produção do vitelo, que servirá de alimento para o embrião. Na espécie humana, praticamente não há síntese de vitelo nos ovócitos I.

Quando uma menina nasce, todos os seus ovócitos primários já estão formados nos ovários. Entretanto, a maioria deles sofre degeneração ao longo da vida da mulher.

A partir da primeira menstruação (**menarca**), que acontece geralmente entre 12 e 15 anos de idade, a mulher passa a apresentar ciclos menstruais, que duram em geral 28 dias. Em cada ciclo, geralmente um dos ovócitos primários entra no período

de maturação. Isso se repete até a **menopausa** (cessação definitiva das menstruações), o que pode acontecer geralmente entre 48 e 55 anos de idade.



Quanto ovócitos primários amadurecem na vida fértil da mulher?

Considerando que em determinada mulher a menarca ocorra aos 12 anos de idade e a menopausa aos 50, podemos calcular quantos ovócitos primários podem amadurecer durante toda a vida fértil dessa mulher: cerca de 456, apenas.

Agora compare esse número com o total aproximado de espermatozoides em uma única ejaculação: 300 milhões!

Vamos acompanhar o que acontece com um ovócito primário. Inicialmente ocorre a meiose I, dando origem a duas células com n cromossomos duplicados, como em toda meiose. A principal diferença que se verifica em relação à meiose I da espermatogênese é que se formam duas células de tamanhos diferentes: uma bem maior do que a outra. A maior recebe o nome de **ovócito secundário** ou **ovócito II**, e a menor recebe o nome de **glóbulo polar** ou **corpúsculo polar**. Na espermatogênese, as células que se formam têm o mesmo tamanho e recebem o mesmo nome: são os espermátocitos II.

O ovócito II inicia a segunda etapa da meiose: a meiose II.

Na espécie humana e em muitas outras espécies animais, a meiose II só se completa se ocorrer a fecundação.

No caso da mulher, o ovócito II é eliminado do ovário após ter iniciado a segunda fase da meiose,

mas com esse processo interrompido na metáfase II. Essa célula entra na tuba uterina e, se for fecundada, a meiose II se completa. Nesse caso, formam-se o segundo glóbulo polar e o óvulo. Como regra, os glóbulos polares degeneram-se.

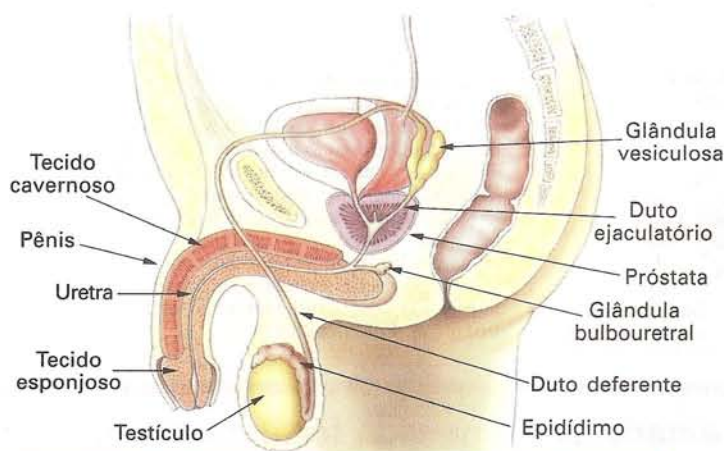
Na mulher, toda a gametogênese está relacionada com modificações hormonais que também preparam o útero para uma eventual gravidez. Todos os meses esse processo se repete. A parede uterina se espessa, preparando-se para receber o embrião. Caso a fecundação não ocorra, a gametogênese não se completa e o espessamento da parede uterina descama. Essa descamação da parede uterina é a **menstruação**. Se houver fecundação, tem início a gravidez e não há menstruação.

O primeiro dia da menstruação corresponde ao primeiro dia de um novo ciclo, quando todo o processo se repete.

7. Sistema genital masculino

O sistema genital masculino consiste em:

- dois **testículos**, que produzem os espermatozóides e também o hormônio sexual masculino testosterona; ficam alojados na **bolsa escrotal** ou **escroto**;
- dois **epidídimos**;
- dois **ductos** (ou dutos) **deferentes**;
- dois **ductos** (ou dutos) **ejaculatórios**;
- **uretra**;
- **pênis**;
- glândulas anexas: **próstata**, duas **glândulas vesiculosas** (vesículas seminais) e duas **glândulas bulbouretrais**.



Esquema de vista lateral em corte da região do quadril masculino, com destaque para o sistema genital. (Cores-fantasia.)

Os espermatozóides produzidos nos testículos passam para os epidídimos, onde ficam armazenados até serem eliminados durante o ato sexual.

Quando o homem é estimulado no ato sexual, seu pênis fica ereto e rígido. Isso ocorre devido ao

afluxo de sangue, que preenche os espaços existentes no **tecido cavernoso** desse órgão. Assim, o pênis pode ser introduzido na vagina.

Continuando o estímulo sexual, ocorre a ejaculação. Nesse processo, os espermatozóides são conduzidos até a extremidade do pênis por contrações rítmicas da musculatura do epidídimo, dos ductos e da uretra. Passam inicialmente do epidídimo para o ducto deferente e em seguida para o ducto ejaculatório, já próximo à bexiga urinária.

No ducto ejaculatório, os espermatozóides recebem das glândulas vesiculosas uma secreção fluida, que chega a constituir 54% do volume total ejaculado. Nas proximidades da porção inicial da uretra os espermatozóides passam pela próstata, que libera uma secreção leitosa e alcalina, a qual é incorporada ao fluido seminal. A secreção da próstata também contribui para neutralizar o pH vaginal, que é naturalmente ácido.

Para a mulher, o pH vaginal ácido impede o desenvolvimento de microrganismos, mas inibe a motilidade dos espermatozóides. Assim, esse pH é regulado pela secreção da próstata, e os espermatozóides conseguem se locomover.

Essa espessa massa líquida, formada principalmente pelos espermatozóides e pelas secreções das glândulas vesiculosas e da próstata, constitui o **sêmen** ou **esperma**.

Ao entrar na uretra, o sêmen será ainda acrescido de uma substância mucosa lubrificante secretada pela glândula bulbouretral, na base do pênis. Apenas cerca de 10% do volume do sêmen correspondem aos espermatozóides.

Temperatura e espermatogênese humana

A espermatogênese é um processo sensível a temperaturas elevadas. Ela ocorre adequadamente quando a temperatura nos testículos está cerca de 4 °C menor do que a temperatura normal do corpo humano, que geralmente é de 37 °C. A localização dos testículos, abrigados no saco escrotal, fora da cavidade abdominal, propicia essa redução de temperatura. O mesmo ocorre nos demais mamíferos, com exceção do grupo dos coelhos e dos roedores. Nestes, os testículos ficam dentro da cavidade abdominal e só descem para o escroto na época da reprodução, quando a temperatura é essencial para uma espermatogênese normal.

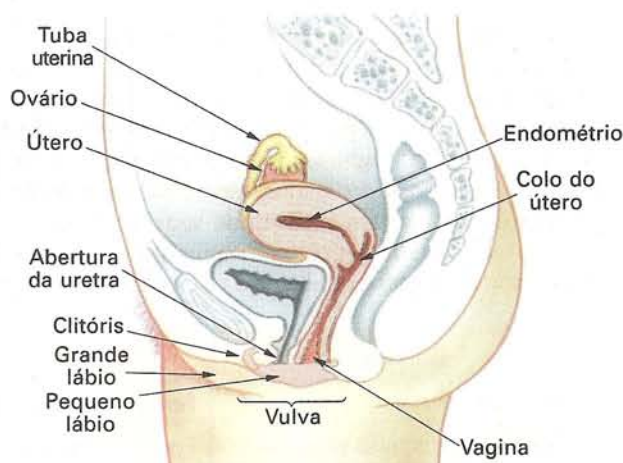
Se um homem usar roupas muito justas, fizer exercícios prolongados com roupas apertadas ou permanecer muito tempo em banhos de imersão com água muito quente, a espermatogênese será temporariamente interrompida e só voltará a ocorrer quando a temperatura nos testículos chegar a cerca de 33 °C.

8. Sistema genital feminino

O sistema genital feminino consiste em:

- dois **ovários**, responsáveis pela formação dos ovócitos e pela produção dos hormônios sexuais femininos estrógeno e progesterona;
- duas **tubas uterinas** (trompas de Falópio ou ovidutos), condutos que vão desde a região do ovário até o útero;
- **útero**, onde ocorre o desenvolvimento embrionário e cuja parede descama na menstruação;
- **vagina**, estrutura que recebe o pênis durante a relação sexual e serve de canal de saída para o fluxo menstrual e para o bebê no momento do parto natural. A abertura da vagina para o exterior do corpo é circundada por uma membrana denominada **hímen**, geralmente rompida na primeira relação sexual da mulher;
- **vulva**, estrutura externa do sistema genital feminino (genitália externa). É formada pelos **grandes** e pelos **pequenos lábios** (dobras adiposas da pele), pela abertura da vagina e da uretra e pelo **clitórís**, um pequeno órgão erétil importante para o estímulo sexual da mulher.

O gameta feminino é liberado do ovário antes do término da meiose, ainda como ovócito II, em metáfase interrompida. Ele penetra na tuba uterina e é deslocado em direção ao útero. Caso não ocorra a fecundação, o ovócito II degenera e a parede interna do útero (endométrio), que está desenvolvida, descama, dando origem à menstruação.



Esquema de vista lateral em corte da região do quadril feminino, com destaque para o sistema genital. (Cores-fantasia.)

A fecundação ocorre na tuba uterina. O espermatozóide penetra o ovócito II, que finaliza a meiose formando o óvulo por um curto intervalo de tempo. Ocorre fusão dos núcleos haplóides do óvulo e do espermatozóide, originando o ovo ou zigoto. Este inicia o desenvolvimento embrionário na tuba uterina e é conduzido até o útero, onde o endométrio desenvolvido está em condições de possibilitar a implantação (nidação) do embrião.

O desenvolvimento embrionário se completa no útero, que aumenta de tamanho durante a gestação, acompanhando o crescimento do feto.

9. Fecundação

Dos aproximadamente 300 milhões de espermatozóides eliminados na ejaculação, apenas cerca de duzentos atingem a tuba uterina, e só um fecunda o ovócito II.

Quando liberado do ovário, o ovócito encontra-se envolto pela **zona pelúcida**, formada por uma rede de filamentos glicoprotéicos. Externamente à zona pelúcida há a **corona radiata**, formada por **células foliculares** (células derivadas do ovário).

Na fecundação, o espermatozóide passa pela corona radiata e, ao atingir a zona pelúcida, perfura-a graças à liberação de enzimas do capuz acrosômico. A seguir, a membrana do espermatozóide funde-se à membrana do ovócito. Nesse momento, a zona pelúcida sofre alterações, formando a mem-

brana de fecundação, que impede a penetração de outros espermatozóides no ovócito.

Ao mesmo tempo, há finalização da meiose, dando origem ao óvulo e formando-se o segundo corpúsculo polar.

Na fecundação, o espermatozóide fornece para o zigoto o núcleo e o centríolo. As mitocôndrias do espermatozóide desintegram-se no citoplasma do óvulo. Assim, todas as mitocôndrias do corpo do novo indivíduo são de origem materna.

Hoje se sabe que há muitas doenças causadas por mutações no DNA mitocondrial e que elas são transmitidas diretamente das mães para seus descendentes. Além disso, a análise do DNA mitocondrial tem sido usada em testes de maternidade, para verificar quem é a mãe de uma criança.

Doenças humanas relacionadas ao DNA mitocondrial

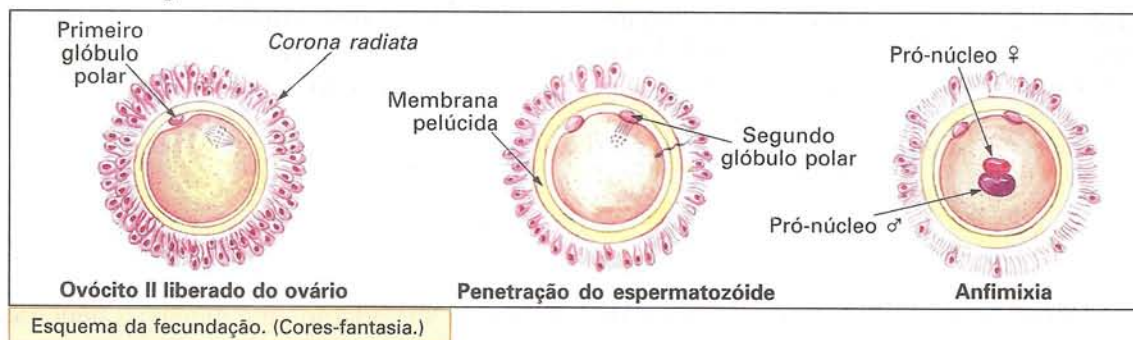
Cada célula do corpo humano possui centenas de mitocôndrias. Dentro de uma única mitocôndria existem várias moléculas circulares de DNA, e cada uma delas inclui 37 genes relacionados com a síntese de proteínas envolvidas nas etapas da respiração.

Mutações no DNA mitocondrial têm sido relacionadas com o envelhecimento e com uma série de doenças degenerativas, especialmente do cérebro, dos músculos, dos rins e das glândulas produtoras de hormônios. Essas mutações alteram o funcionamento das mitocôndrias de modo que elas deixam de produzir energia para as células continuarem executando suas funções normais.

A tabela a seguir resume algumas das doenças humanas que podem ser causadas por mutações no DNA mitocondrial. Algumas delas são causadas também por mutações no DNA dos cromossomos.

Doença	Característica
Alzheimer	Perda progressiva da capacidade cognitiva.
Oftalmoplegia crônica progressiva	Paralisia dos músculos dos olhos.
Diabetes melito	Altos níveis de glicose no sangue, levando a complicações como cegueira, disfunção renal e gangrena nos membros inferiores.
Distonia	Movimentos anormais envolvendo rigidez muscular.
Síndrome de Leigh	Perda progressiva da habilidade motora e verbal; é potencialmente letal na infância.
Atrofia óptica de Leber	Perda temporária ou permanente da visão em decorrência de danos ao nervo óptico.

O núcleo haplóide do óvulo e o núcleo do espermatozóide recebem, respectivamente, os nomes **pró-núcleo feminino** e **pró-núcleo masculino**. Com a união desses núcleos (**anfimixia**), temos a formação da célula-ovo ou zigoto e o início do desenvolvimento embrionário.



10. Doenças sexualmente transmissíveis

Diversas doenças podem afetar diretamente o sistema genital masculino e o feminino. Existem algumas, no entanto, que, embora adquiridas por via sexual, têm efeito sobre o organismo todo.

Todas as doenças adquiridas pelo contato sexual chamam-se **doenças sexualmente transmissíveis (DST)**.

Uma vez levantada a suspeita ou constatada qualquer doença sexualmente transmissível, o médico deve ser consultado imediatamente, pois somente ele tem condições de oferecer tratamento

seguro e adequado. O mau tratamento dessas doenças pode trazer sérios comprometimentos ao sistema genital, à fertilidade e à saúde geral do indivíduo.

Dentre as doenças sexualmente transmissíveis, vamos estudar as mais comuns: sífilis, gonorréia, cancro mole, linfogranuloma venéreo, condiloma acuminado, pediculose pubiana e tricomoníase, conhecidas como doenças venéreas. Além dessas, existem a AIDS e o herpes genital, que serão tratados ao estudarmos os vírus.

10.1. Sífilis

A sífilis é causada por uma bactéria, conhecida como *Treponema pallidum*, transmitida pelo contato sexual. Existem, no entanto, outras vias muito importantes de transmissão, não relacionadas com o contato sexual: de mãe para filho, através da placenta, e por transfusão de sangue.

O primeiro sintoma da sífilis é o aparecimento de uma lesão em forma de pequena úlcera na genitália externa. Essa lesão é conhecida por cancro duro e aparece geralmente entre 7 e 15 dias após o contato sexual.

O cancro duro desaparece naturalmente, mas dentro de 2 meses após o seu aparecimento surgem lesões generalizadas na pele, como inúmeros pontos vermelhos e escamosos em diversas partes do corpo. Nos estágios mais adiantados podem surgir lesões mais graves na pele.

Especialmente graves são as lesões que surgem em órgãos do sistema nervoso, do cardiovascular (circulatório) e do urinário, que podem levar à morte.

A sífilis é perfeitamente curável e é importante que seja tratada logo no início. Doenças causadas por bactérias geralmente são tratadas com o uso de antibióticos, mas somente com prescrição médica.

A sífilis pode permanecer latente durante algum tempo e, nesse caso, a pessoa pode transmiti-la sem nem mesmo suspeitar que está doente. Exemplos como esse são úteis para avaliarmos a importância do exame preventivo, que permite descobrir muitas doenças antes que elas se manifestem.

10.2. Gonorréia

Também conhecida por blenorragia, a gonorréia é uma infecção da uretra e pode comprometer algumas vias genitais. É causada por uma bactéria conhecida por gonococo (*Neisseria gonorrhoeae*), transmitida pelo contato sexual. Como ela é causada por bactéria, o doente pode ser tratado com antibióticos.

Os primeiros sintomas surgem poucos dias após o contato sexual: ardor na uretra seguido de secreção purulenta.

10.3. Cancro mole

O cancro mole é uma ulceração dolorida e mole da genitália externa. É causado por bactéria (*Hemophilus ducreyi*) e o doente é tratado principalmente com antibióticos.

10.4. Linfogranuloma venéreo

O linfogranuloma venéreo é uma doença causada pela bactéria *Chlamydia trachomatis* e caracterizado pela formação de pequenas vesículas nos órgãos sexuais externos. Essas vesículas frequentemente evoluem para pequenas úlceras.

A doença costuma causar inflamação na região inguinal (virilha) principalmente no homem.

10.5. Condiloma acuminado

O condiloma acuminado é denominado vulgarmente crista-de-galo. É provocado pelo papilomavírus humano (HPV), que desencadeia o aparecimento de lesões verrugosas na região genital e anal, semelhantes a uma crista de galo ou a uma couve-flor. Esse vírus pode permanecer latente na pessoa por muito tempo, sem se manifestar. Existem vários tipos de HPV, e alguns deles têm sido relacionados ao aparecimento de câncer genital, em especial o do colo do útero.

10.6. Pediculose pubiana

Essa doença é provocada pelo inseto *Phthirus pubis*, vulgarmente chamado de chato. São piolhos muito pequenos, que se instalam nos pêlos pubianos provocando coceira e pequenos pontos de sangue.

10.7. Tricomoníase

Doença provocada pelo protista *Trichomonas vaginalis* e que desencadeia corrimento vaginal e ardência na mulher ou corrimento pela uretra nos homens, os quais em geral são portadores assintomáticos.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Compare a reprodução assexuada com a sexuada quanto:

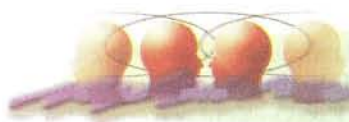
a) à variabilidade genética nos descendentes;

b) à adaptabilidade dos descendentes ao meio.

2. A partir de seus conhecimentos sobre gametogênese, construa uma tabela comparativa entre os processos que ocorrem durante a ovulogênese e a espermatogênese.

3. Descreva o trajeto de um espermatozóide desde o testículo até a sua saída na extremidade do pênis.
4. Por meio de um esquema, represente o sistema genital feminino e diga em que local desse sistema ocorre a fecundação.
5. Descreva o processo da fecundação humana.

6. Comente a seguinte afirmativa: as mitocôndrias da mãe passam somente para suas filhas e não passam para seus filhos, que as recebem do pai. Ela é verdadeira ou falsa? Por quê?
7. Cite e explique duas doenças sexualmente transmissíveis provocadas por bactérias, uma por vírus e uma por protista.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Filhos: uma decisão responsável

O Brasil é uma nação em desenvolvimento que ainda não sente diretamente o problema da superpopulação e que não possui um programa oficial de controle de natalidade, como ocorre em alguns países (China, por exemplo). O que existe em nosso país é uma grande pobreza e uma péssima distribuição da renda. Vários são os fatores que interferem nessa realidade, e não vamos resolvê-la só com o controle de natalidade. Mas um planejamento familiar adequado pode ajudar.

Isso pode ser conseguido oferecendo-se melhores condições de educação, pois, quanto mais esclarecidos formos, mais teremos condições de julgar e optar. Cada casal pode ter a liberdade de decidir quantos filhos quer ter, mas nessa decisão deve pesar que qualidade de vida poderá dar aos seus filhos. Deve

pesar também a sua responsabilidade frente ao problema da superpopulação mundial.

Ter filhos deve ser uma decisão responsável.

Vamos ver alguns dos principais métodos anticoncepcionais.

Existem métodos reversíveis e métodos irreversíveis para se evitar a concepção. Reversível é o método que só evita a gestação enquanto estiver sendo utilizado, mas que permite o retorno à fecundidade quando se deixa de utilizá-lo; irreversível é aquele que, uma vez utilizado, faz cessar definitivamente a capacidade reprodutora.

O texto a seguir foi escrito pela Professora Doutora Ceci Mendes Carvalho Lopes, ginecologista do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo.

Alguns dos principais métodos anticoncepcionais

Métodos reversíveis

1. Coito interrompido

Se o homem souber controlar o momento da ejaculação, pode remover o pênis da vagina pouco antes de ejacular. Com esse procedimento, evita que os espermatozoides penetrem no corpo feminino. Porém, há dois riscos: primeiro, pode ser que o homem não consiga fazê-lo a tempo; segundo, antes da ejaculação pode ocorrer liberação de pequenas quantidades de fluido seminal e há indícios de que essas pequenas quantidades já contêm espermatozoides. Portanto, pode não ser um método muito eficiente.

2. Abstinência periódica ou método do ritmo

A mulher pode identificar a época de sua ovulação e, assim, adotar métodos para evitar a gravidez.

Há várias maneiras para isso. Uma delas é fazer a chamada “tabelinha”.

Os ciclos menstruais duram em geral 28 dias, e a ovulação ocorre por volta do 14º dia. Considerando que o ovócito e o espermatozóide permanecem viáveis por certo período de tempo, as relações sexuais devem ser evitadas cerca de 3 dias antes e 3 dias depois da data prevista para a ovulação. No caso, o período fértil poderia ser considerado do 11º ao 17º dia do ciclo.

O problema é que os ciclos variam de mulher para mulher, e podem variar até na mesma mulher, por inúmeras razões, até mesmo por fatores de ordem emocional. Assim, a data da ovulação pode não ser o 14º dia.

Uma maneira de fazer a “tabelinha” é a mulher anotar por vários meses a duração de seus

ciclos menstruais, cada um deles contado do primeiro dia de um ciclo ao primeiro dia do ciclo seguinte.

Para fazer a “tabelinha”, deve-se considerar a duração do ciclo mais curto e a do ciclo mais longo. A ovulação geralmente ocorre cerca de 14 dias antes da próxima data prevista para a menstruação.

Supondo que o ciclo mais curto tenha sido de 26 dias e o mais longo, de 30 dias, o cálculo é feito da seguinte maneira:

- subtraem-se 14 dias do tempo de duração do ciclo mais curto: no exemplo teríamos $26 - 14 = 12$; portanto a ovulação ocorreria no 12º dia do ciclo mais curto;
 - subtraem-se 14 dias do tempo de duração do ciclo mais longo: no exemplo teríamos $30 - 14 = 16$; portanto a ovulação ocorreria no 16º dia do ciclo mais longo;
 - subtraem-se pelo menos 3 dias da data de ovulação do ciclo mais curto e somam-se 3 dias à data da ovulação prevista no ciclo mais longo.
- O período que corresponderá à fase provavelmente fértil no exemplo dado será do 9º ao 19º dia de qualquer ciclo menstrual. Os dias restantes serão os dias não-férteis.

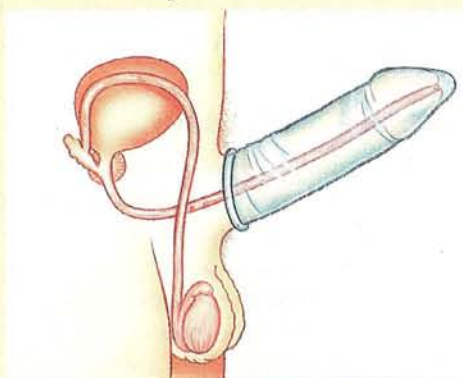
O grande inconveniente do método de controle da fertilidade pela abstinência sexual nos dias férteis é haver grande risco de erro de cálculo, podendo ocorrer uma gravidez não-planejada. Quanto menos regular for o ciclo menstrual da mulher, maior será a possibilidade de o erro acontecer.

3. Camisinha ou condom

A camisinha atua como uma “luva” que se veste sobre o pênis ereto e que serve para reter a ejaculação. Ela deve ser colocada antes da penetração do pênis, recobrindo-o totalmente. É importante deixar uma pequena folga sem ar no fundo da camisinha. Após a ejaculação, o pênis deve ser retirado do corpo feminino enquanto ainda estiver ereto.

Bem empregado, pode ser um bom método anticoncepcional, além de diminuir o risco de contágio de algumas doenças sexualmente transmissíveis, como AIDS, sífilis e outras. A camisinha tem de ser

de boa qualidade, e uma vez utilizada deve ser descartada e nunca reaproveitada.



Esquema da correta colocação da camisinha. Estruturas internas representadas por transparência, em cores-fantasia.

4. Camisinha feminina ou feridom

Trata-se de um dispositivo feito de polipropileno (menos alergênico do que o látex dos condoms) que parece um pequeno saco, com um aro na borda e outro aro solto no fundo. Esse dispositivo deve ser introduzido na vagina, deixando o aro da borda para fora; o aro do fundo serve como “lastro”, ou seja, mantém o preservativo no lugar.

O pênis deve penetrar no dispositivo. Ao término do ato sexual, gira-se o aro externo, prendendo o conteúdo dentro do preservativo, que então pode ser retirado e jogado fora.

A camisinha feminina também protege contra doenças sexualmente transmissíveis, pois impede o contato das secreções dos parceiros.

5. Diafragma vaginal

O diafragma é uma cúpula de látex ou de silicone, com um aro elástico na borda, que se coloca dentro da vagina, formando uma barreira que bloqueia a passagem dos espermatozoides. É aplicado pela mulher, antes da relação sexual, e deve ser retirado algumas horas depois. Geralmente, é utilizada também uma geléia espermicida, da qual falaremos em seguida. O diafragma, desde que utilizado corretamente, na medida adequada e estando em boas condições, tem boa eficiência.

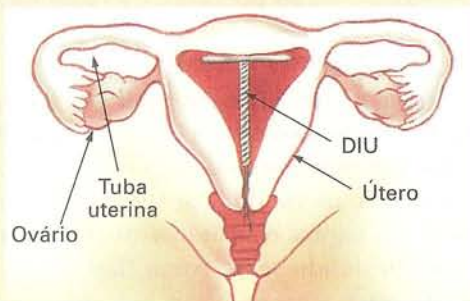
6. Espermicidas

Várias substâncias químicas podem agir bloqueando a atividade dos espermatozoides, por isso são chamadas **espermicidas**. Eles podem ser utilizados na forma de geléias, comprimidos ou espumas que se aplicam na vagina antes da relação sexual. Existem camisinhas que já são vendidas com lubrificante espermicida, o que aumenta sua eficiência.

Os espermicidas não são muito eficientes se forem utilizados como único método anticoncepcional, mas têm a vantagem de serem também anti-sépticos, diminuindo o risco de infecções transmitidas sexualmente.

7. Dispositivo intra-uterino (DIU)

O DIU é um dispositivo de plástico ou metal, aplicado pelo médico dentro do útero. Esse dispositivo parece provocar uma hostilidade no interior do útero, o que impede a fecundação e a implantação do óvulo, caso este seja fecundado. A eficiência do DIU é bastante alta. O inconveniente é que ele pode fazer a menstruação ficar mais abundante e pode causar cólicas menstruais.



Esquema do DIU dentro do útero. Útero e vagina representados em corte. (Cores-fantasia.)

8. Anticoncepcionais hormonais

Os hormônios femininos, em doses adequadas, podem agir impedindo a ovulação. Por isso, são os mais eficientes métodos anticoncepcionais reversíveis que existem até hoje, e sua indicação deve ser feita a critério médico. O tipo mais conhecido é o que se apresenta sob a forma de comprimido: a pílula anticoncepcional ou simplesmente pílula.

Outro tipo de contraceptivo hormonal é o injetável. Existem várias formulações, tanto para uso mensal (uma injeção ao mês) como para uso trimestral (uma injeção a cada 3 meses). Seu efeito é muito semelhante ao da pílula.

Existe ainda um contraceptivo hormonal de longa duração implantado sob a pele. Tem de ser aplicado e retirado por um médico, por meio de um pequeno procedimento cirúrgico normalmente realizado no próprio consultório. É sugerido principalmente para mulheres que já tenham tido os filhos desejados, pois se trata de um método para uso prolongado.

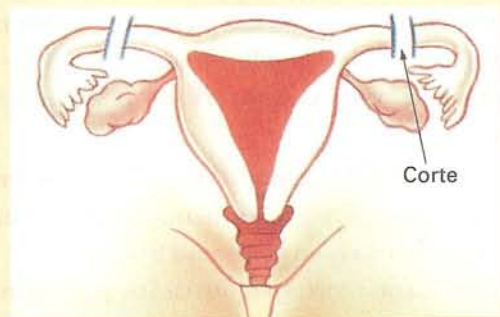
Métodos irreversíveis

Muitas vezes, as pessoas procuram um método que as torne definitivamente estéreis. Isso também pode ser indicado em certas doenças, como as cardíacas, em que há risco para a saúde da mulher se ela ficar grávida.

Há muitos métodos que normalmente exigem algum tipo de cirurgia. Os mais comuns são a laqueadura tubária e a vasectomia, que devem ser considerados métodos definitivos. Porém, em determinados casos pode haver a possibilidade de se fazer outra cirurgia para reverter o estado de esterilidade, nem sempre se obtendo bons resultados.

1. Laqueadura tubária

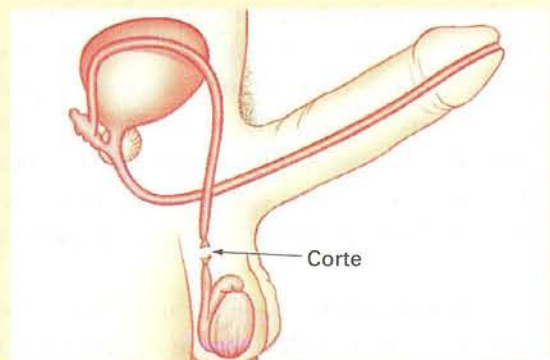
Laqueadura ou ligadura tubária é um procedimento cirúrgico em que se interrompe a permeabilidade das tubas uterinas (há várias maneiras de fazê-lo). Com essa interrupção, não há mais a passagem do óvulo, não mais ocorrendo o encontro dele com os espermatozóides. Por isso não há fecundação e o óvulo é reabsorvido, embora continue sendo produzido normalmente.



Esquema do sistema genital feminino mostrando o local da laqueadura tubária. Útero e vagina representados em corte. (Cores-fantasia.)

2. Vasectomia

É uma cirurgia em que se secciona o ducto deferente, interrompendo o caminho que é normalmente percorrido pelos espermatozóides. De fácil realização, essa cirurgia pode ser feita até em consultório com anestesia local. A produção hormonal e todos os demais detalhes do funcionamento do sistema genital masculino permanecem inalterados.



Esquema do sistema genital masculino mostrando o resultado da vasectomia. Estruturas internas representadas por transparência, em cores-fantasia.

Um pouco sobre a eficiência dos métodos anticoncepcionais

Os métodos mais eficientes de todos são os irreversíveis, mas eles devem ser utilizados apenas em algumas situações especiais. Dentre os reversíveis, os mais eficazes são os hormonais, depois o DIU, seguido dos métodos de barreira (condom, camisinha feminina e diafragma), e, por último, os comportamentais (“tabelinha” e coito interrompido).

- Algumas religiões impõem restrições aos métodos anticoncepcionais. Procure saber qual a opinião da sua religião a respeito desse assunto e do controle de natalidade.
- Adolescentes do sexo feminino e do masculino passam por transformações no corpo e no comportamento. É uma fase em que normalmente começam a surgir os interesses sexuais. Pense em você, nas pessoas com as quais convive e nas informações recebidas através da mídia e reflita sobre os problemas que podem surgir para quem opta por iniciar a vida sexual precocemente. Troque idéias sobre esse assunto com seus colegas, seu professor e sua família.



TESTES

1. (PUC-RJ) Os seres vivos podem reproduzir-se sexuada ou assexuadamente. Sobre este assunto, indique a afirmativa correta:

- A reprodução assexuada promove maior variabilidade genética e produz grande quantidade de descendentes.
- A reprodução assexuada se caracteriza pela presença de meiose, formação de gametas e fecundação.
- A reprodução sexuada, exceto quando ocorrem mutações, produz indivíduos geneticamente iguais.
- O brotamento é um tipo de reprodução assexuada, em que os descendentes são formados por mitoses.
- A reprodução assexuada permite uma evolução mais rápida das espécies.

2. (Cesgranrio-RJ) Os óvulos alécitos, que se caracterizam por apresentarem pouco vitelo distribuído homogeneamente pelo citoplasma, são característicos de:

- insetos.
- répteis.
- mamíferos.
- anfíbios.
- aves.

3. (UFPR) Analisando o processo de gametogênese em mamíferos, é correto afirmar que:

- O gameta feminino é uma célula grande e imóvel cujo citoplasma aumenta muito durante o processo de formação.
- Na formação dos espermatozoides, ocorre uma etapa de diferenciação celular após a divisão meiótica.
- Após a divisão meiótica, de cada ovogônia originam-se quatro ovócitos idênticos.
- O processo de ovulogênese ocorre em etapas, permanecendo os ovócitos I em estágio inicial da meiose durante grande parte da vida da mulher.
- De cada espermatogônia que inicia o processo de espermatogênese, formam-se oito espermatozoides.

- Espermatogônias e espermátides são células haplóides resultantes de etapas do processo de espermatogênese.
- O número diplóide característico da espécie só é reconstituído no momento da fecundação, quando se forma o zigoto.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

4. (FEPA) Nos ovários da mulher recém-nascida encontramos:

- ovótides evoluindo para óvulos.
- ovócitos secundários transformando-se em ovótides.
- ovogônias transformando-se em ovócitos primários.
- ovogônias e meiose.
- ovócitos primários em meiose interrompida.

5. (PUC-MG) Uma espermatogônia, no final da divisão I da meiose, apresentará células:

- diplóides.
- gaméticas.
- somáticas.
- meristemáticas.
- haplóides.

6. (UFRS) Indique a alternativa que completa corretamente as lacunas do texto abaixo.

A menina, ao nascer, já realizou as fases de multiplicação e crescimento do processo denominado gametogênese, possuindo um grande número de ... em processo interrompido de Essas últimas células são

- óvulos — meiose — haplóides.
- ovócitos I — mitose — haplóides.
- ovócitos II — meiose — haplóides.
- ovócitos I — meiose — diplóides.
- corpúsculos polares — mitose — diplóides.

7. (Fuvest-SP) Durante a ovulogênese da mulher, são produzidos dois corpúsculos polares. O primeiro e o segundo corpúsculos polares humanos contêm, respectivamente:

- 46 cromossomos duplicados e 46 cromossomos simples.
- 46 cromossomos simples e 23 cromossomos simples.
- 23 cromossomos duplicados e 23 cromossomos simples.
- 23 cromossomos simples e 23 cromossomos simples.
- 23 cromossomos simples e nenhum cromossomo.

8. (Cefet-PR) Relacione a coluna I à coluna II; em seguida, indique a alternativa cuja seqüência numérica está correta:

Coluna I	Coluna II
(1) Ovo oligolécito	répteis
(2) Ovo heterolécito	equinodermos
(3) Ovo telolécito	insetos
(4) Ovo centrolécito	anfíbios

- 1 — 4 — 3 — 2
- 2 — 1 — 3 — 4
- 3 — 1 — 4 — 2
- 4 — 2 — 3 — 1
- 3 — 4 — 2 — 1

9. (UFMS-RS) Indique a afirmativa correta sobre condiloma genital.

- São verrugas que ocorrem na região genital e anal que podem causar câncer.
- São lesões ulcerosas que podem provocar gonorréia.
- É um tipo de herpes causador de verrugas que se desenvolvem em intervalos regulares.
- São verrugas que ocorrem na região genital, podendo desenvolver gonorréia.
- São lesões ulcerosas que podem originar cancro mole.

10. (UFF-RJ) "Benditas as mulheres que são irregulares, pois suas filhas herdarão a Terra." Esta foi a resposta de um médico americano quando lhe perguntaram sobre o uso da tabelinha para o controle da natalidade. Sobre este método podemos afirmar que:

- produz danos à saúde devido à frequência irregular de relações sexuais.
- sua eficácia depende de um ciclo menstrual regular, em que se pode prever o período fértil.
- seu uso reduz a incidência de câncer de colo de útero e ovários em 50%.
- é contra-indicado para mulheres hipertensas, que têm enxaquecas ou são fumantes.
- durante a relação sexual pode sair do lugar e permitir a fecundação.

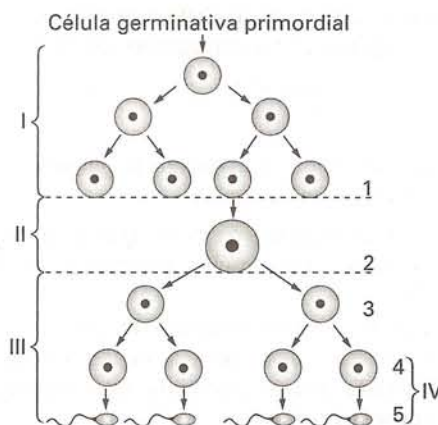


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFSC — mod.) Qual o número de espermatogônias necessárias para a produção de 196 espermatozóides humanos?

2. (UFPR) Com relação ao esquema ao lado, responda às seguintes perguntas:

- Qual o fenômeno nele representado?
- Quais as fases indicadas pelas chaves I, II, III e IV?
- Quais as células indicadas em 1, 2, 3, 4 e 5?



3. (Unicamp-SP) Considerando que a informação genética é igualmente carregada pelo óvulo e pelo espermatozóide, responda:

- Por que o óvulo é geralmente muito maior do que o espermatozóide?
- Como essa diferença aparece durante a gametogênese?

4. (UFV-MG) Podemos imaginar a fecundação, na espécie humana, como um verdadeiro *rallye*, em decorrência de vários obstáculos presentes na trajetória dos espermatozoides até o óvulo. À semelhança de um *grid* de largada, os gametas masculinos depositados na vagina começam a “subir” pelo útero e ovidutos, em função de sua extraordinária **motilidade** (I). Transpõem várias barreiras, como pH ácido, densas secreções mucosas, dobras e invaginações, até alcançar o oviduto, onde literalmente deverão continuar “nadando contra a maré”. Ao encontrar o óvulo, têm ainda que sobrepor mais uma barreira, uma vez que esse é envolvido por uma **camada de células** (II). Por fim, liberam uma enzima chamada hialuronidase, efetivando assim a fecundação.

- a) Cite o local onde, normalmente, ocorre a fecundação.
- b) Qual é a organela celular responsável pela função indicada no texto por I?
- c) Qual o nome da camada de células indicada no texto por II?

5. (Unicamp-SP) Em muitos organismos unicelulares, como as amebas, as células-filhas resultantes da divisão mitótica funcionam como organismos independentes; novas plantas podem surgir a partir de raízes ou mesmo de folhas; em certos animais como a hidra, novos indivíduos surgem por brotamento.

- a) A que tipo de reprodução se referem esses exemplos?
- b) Dê duas vantagens e uma desvantagem desse tipo de reprodução.

6. (UFRJ) A eficiência dos métodos anticoncepcionais mais utilizados pode ser verificada observando-se o quadro a seguir:

Método	% de casos em que ocorreu gravidez
1 — Tabela	20,0
2 — Interrupção do coito antes da ejaculação	16,0
3 — Camisinha	2,0
4 — Diafragma com espermicida	2,0
5 — Ligação das trompas	0,4
6 — Pílula anticoncepcional	0,5
7 — Vasectomia	0,4

- a) Explique por que o método da tabela é um dos menos seguros.
- b) O método da pílula anticoncepcional diferencia-se dos demais em relação à forma pela qual se evita a gravidez. Explique por quê.



O desenvolvimento embrionário

1. Introdução

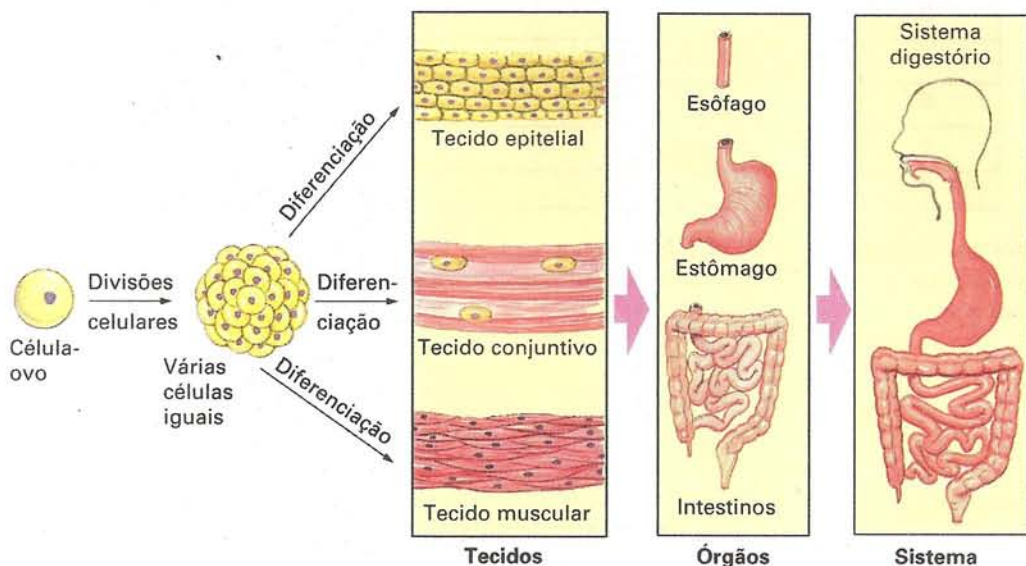
O zigoto é portador do material genético fornecido pelo espermatozóide e pelo óvulo. Uma vez formado, o zigoto irá se dividir muitas vezes por mitose até originar um novo indivíduo. Assim, todas as células que formam o corpo de um indivíduo possuem o mesmo patrimônio genético que existia no zigoto.

Apesar disso, ao longo do desenvolvimento embrionário as células passam por um processo de **diferenciação celular** em que alguns genes são “ativados” e outros são “desativados”, sendo que so-

mente os “ativados” coordenam as funções das células.

Surgem dessa maneira tipos celulares com formatos e funções distintos, que se organizam em **tecidos**. Os tecidos reúnem-se e formam os **órgãos**. Os grupos de órgãos formam os **sistemas**, que, por sua vez, formam o **organismo**.

Células → Tecidos → Órgãos → Sistemas → Organismo



Esquema da diferenciação celular e da organização dos tecidos em órgãos e destes em sistemas. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

A Ciência que estuda esse processo de desenvolvimento do indivíduo a partir do zigoto é a **Embriologia**, e será ela o foco de nossa atenção neste capítulo.

2. Fases do desenvolvimento embrionário

Os animais apresentam grande diversidade de desenvolvimento embrionário, mas, de modo geral, em praticamente todos ocorrem três fases consecutivas: segmentação, gastrulação e organogênese.

Na **segmentação**, mesmo com o aumento do número de células, praticamente não há aumento do volume total do embrião, pois as divisões celulares são muito rápidas e as células não têm tempo para crescer.

Na fase seguinte, que é a **gastrulação**, o aumento do número de células é acompanhado do aumento do volume total. Inicia-se nessa fase a diferenciação celular, ocorrendo a formação dos **folhetos germinativos** ou **folhetos embrionários**, que darão origem aos tecidos do indivíduo.

No estágio seguinte, que é a **organogênese**, ocorre a diferenciação dos órgãos.

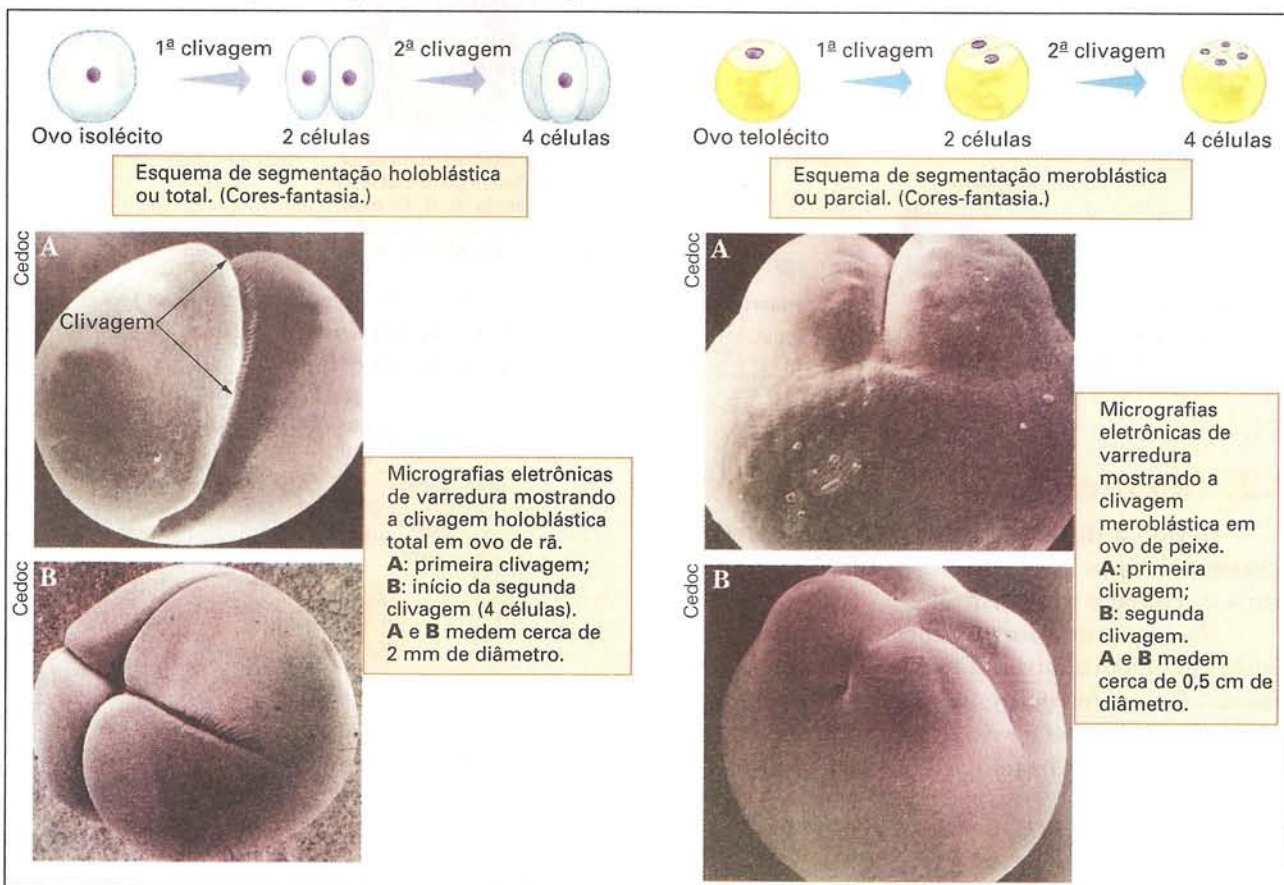
Vamos analisar cada uma dessas fases para os animais em geral e depois comentar o desenvolvimento embrionário humano.

3. Segmentação

As divisões que ocorrem durante a segmentação denominam-se **clivagens**, e as células que se formam são chamadas **blastômeros**.

No Reino Animal, a diferença na quantidade e na distribuição do vitelo no ovo determina diferenças na segmentação: quanto maior a quantidade de vitelo, menor a velocidade de divisão. Em função disso, podemos considerar dois tipos básicos de segmentação:

- **holoblástica** ou **total**, que ocorre no zigoto todo;
- **meroblástica** ou **parcial**, que ocorre só em parte do ovo.

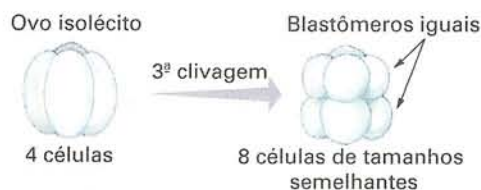


3.1. Segmentação holoblástica

A segmentação holoblástica ocorre nos ovos alécitos, nos isolécitos (ou oligolécitos) e nos heterolécitos, e pode ser subdividida em três tipos, com base no tamanho das células que se formam a partir da terceira clivagem (quando muda o plano de divisão celular):

- **holoblástica igual**, na qual se formam, com a

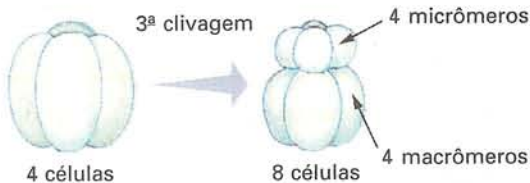
terceira clivagem, oito blastômeros iguais; ocorre nos ovos alécitos e em alguns oligolécitos;



Esquema de segmentação holoblástica igual. (Cores-fantasia.)

- **holoblástica desigual**, na qual se formam, com a terceira clivagem, blastômeros de tamanhos diferentes (quatro menores: **micrômeros**; e quatro maiores: **macrômeros**); ocorre em todos os ovos heterolécitos e em alguns oligolécitos;

Ovo heterolécito



Esquema de segmentação holoblástica desigual. (Cores-fantasia.)

- **holoblástica subigual**, um tipo de segmentação desigual em que os blastômeros não diferem muito entre si quanto ao tamanho; ocorre em alguns ovos isolécitos.

Ovo oligolécito

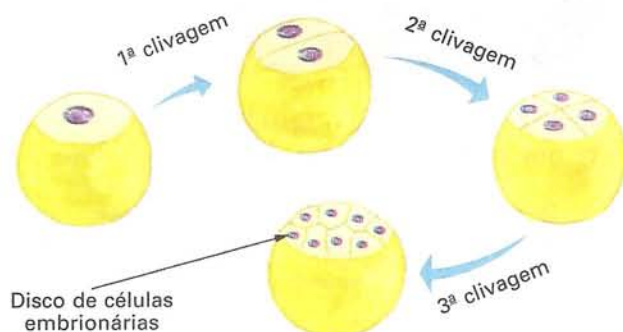


Esquema de segmentação holoblástica subigual. (Cores-fantasia.)

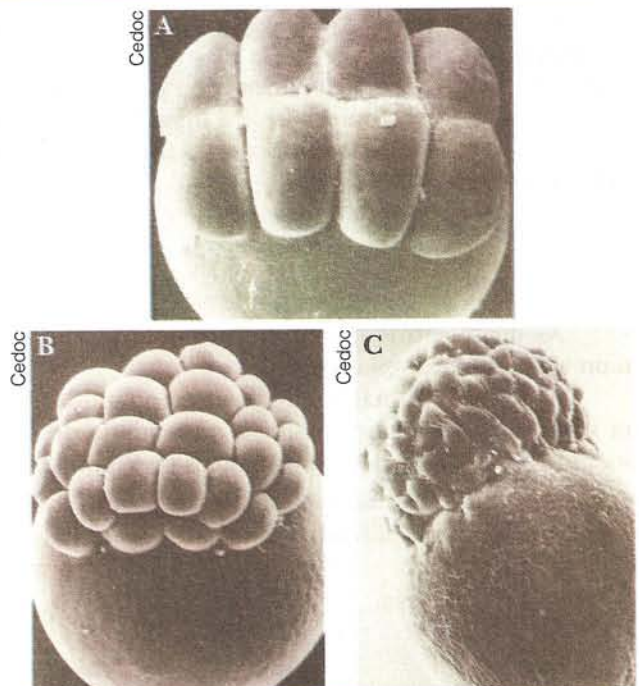
3.2. Segmentação meroblástica

Devido à diferença na distribuição do vitelo, existem dois tipos básicos de segmentação meroblástica: a discoidal e a superficial.

Na segmentação meroblástica **discoidal**, as divisões ocorrem apenas na região da **cicatricula** (região da célula sem vitelo), formando-se um disco de células sobre a massa de vitelo. Esse tipo de segmentação ocorre nos ovos telolécitos.

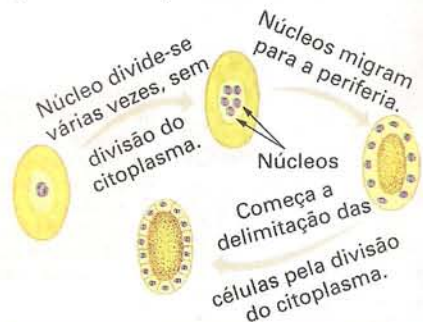


Esquema de segmentação meroblástica discoidal. (Cores-fantasia.)



Micrografias eletrônicas de varredura da segmentação meroblástica discoidal em embrião de peixe. A sequência (A, B, C) mostra aumento no número de células na região da cicatricula e ausência de divisão na região rica em vitelo. A, B e C medem cerca de 0,5 cm.

A segmentação meroblástica **superficial** ocorre nos ovos centrolécitos. As células embrionárias ficam dispostas na superfície do ovo.



Esquema de segmentação meroblástica superficial. (Cores-fantasia.)

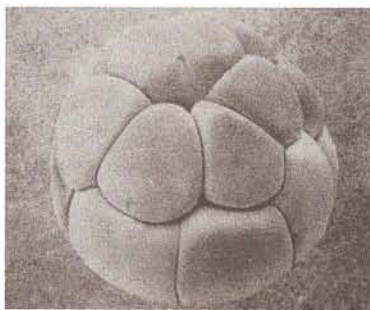
3.3. Fases da segmentação

Embora existam diferentes tipos de segmentação, eles normalmente se realizam segundo duas fases:

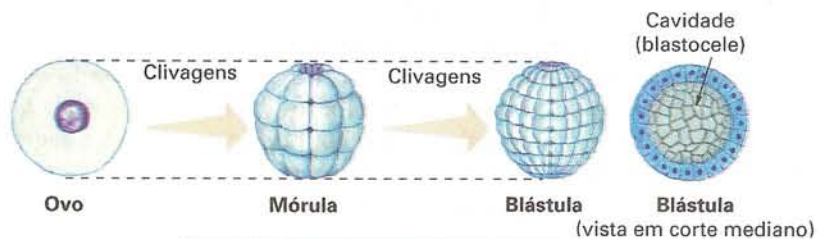
- **mórula**, em que se forma um maciço celular com poucas células;
- **blástula**, em que é aumentado o número de células e se forma uma cavidade interna cheia de líquido.

Durante a fase de **mórula** e a de **blástula**, o volume total permanece praticamente constante, embora aumente o número de células.

A cavidade central que se observa na blástula recebe o nome de **blastocèle** (*cele* = cavidade) e é cheia de líquido sintetizado pelas células que formam os seus limites.



Dr. Lloyd M. Beidler/SPL

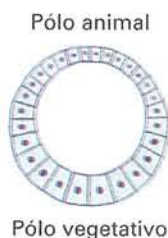


Esquema de segmentação. O ovo mede cerca de 0,1 mm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

Micrografia eletrônica de varredura mostrando a mórula, com dezesseis células, de um embrião de anfíbio. Note a diferença de tamanho entre micrômeros e macrômeros. Mede cerca de 2 mm de diâmetro.

Nos ovos isolécitos e nos heterolécitos a blastocèle é bem desenvolvida.

Na blástula originada da segmentação de ovos telolécitos, não se observa a verdadeira blastocèle, pois a cavidade formada não é inteiramente delimitada pelos blastômeros. Essa cavidade é delimitada em parte pelos blastômeros e em parte pelo vitelo. Nesse caso, a cavidade formada recebe o nome de **cavidade subgerminal**, que também é preenchida por líquido sintetizado pelas células. A blástula que se forma a partir da segmentação de ovos telolécitos recebe o nome de **discoblástula**.



Esquema de corte de blástula originada da segmentação de ovo isolécito. (Cores-fantasia.)



Esquema de corte de blástula originada da segmentação de ovo telolécito: discoblástula. (Cores-fantasia.)

4. Gastrulação

Para falarmos da gastrulação, vamos tomar como exemplo o que ocorre em animais **cordados**, representados pelo anfioxo e pelas rãs.

Os cordados são animais que possuem **notocorda**, um bastonete flexível que fica no dorso do embrião. A notocorda persiste no adulto de alguns animais cordados, como é o caso do anfioxo. Nos animais vertebrados (peixes, répteis, aves, mamíferos e anfíbios) a notocorda é substituída pela coluna vertebral.

O anfioxo é um animal de cerca de 6 cm de comprimento que vive enterrado na areia em águas rasas do ambiente marinho, deixando para fora apenas a região anterior do corpo. Esses animais têm sexos separados e a fecundação é externa.

O ovo do anfioxo é oligolécito e sua segmentação é total subigual. A gastrulação ocorre por um processo denominado **invaginação** ou **embolia**. Nesse tipo de gastrulação há invaginação dos blastômeros para o interior da blastocèle, como se um dedo empurrasse a parede de uma bexiga. A blasto-

cele se reduz e chega a desaparecer. No ponto de invaginação surge um orifício denominado **blastóporo**; a cavidade interna que se forma é o **intestino primitivo** ou **arquêntero**.



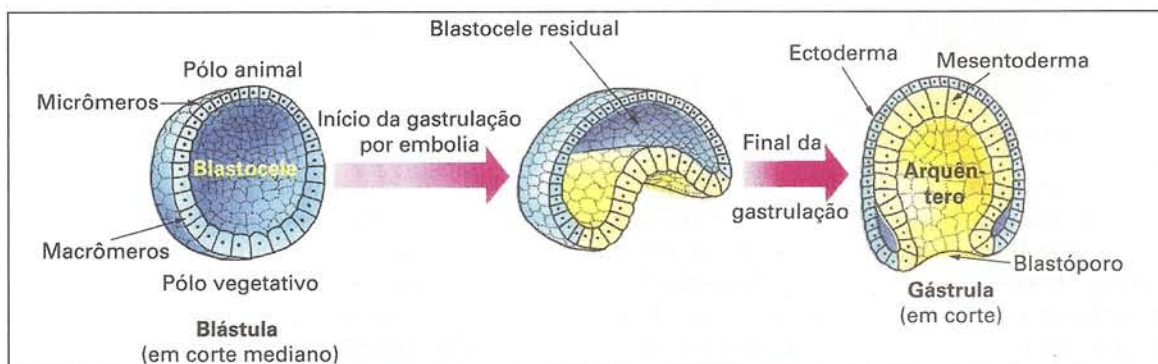
Fotografia de anfioxo (musculatura visível por transparência) enterrado na areia, na posição em que vive naturalmente no ambiente marinho. Mede cerca de 6 cm de comprimento.

Na gastrulação, diferenciam-se os folhetos germinativos ou embrionários, que darão origem a todos os tecidos e órgãos dos adultos. Esses folhetos são: **ectoderma** (o mais externo), **mesoderma** (o intermediário) e **endoderma** (o mais interno).

Os animais que possuem três folhetos germinativos são chamados **triblásticos** ou **triploblásticos**, como é o caso dos cordados. Existem, entretanto, animais que possuem apenas dois folhetos germinativos: o ectoderma e o endoderma. Esses animais

são chamados **diblásticos** ou **diploblásticos**, como é o caso dos cnidários.

O esquema a seguir descreve de forma simplificada a gastrulação em anfioxo. Neste caso, a camada externa que reveste diretamente o arquêntero é chamada **mesentoderma** e dará origem logo a seguir ao mesoderma e ao endoderma. (Há quem considere o mesentoderma como endoderma e o mesoderma formado a partir do endoderma.)

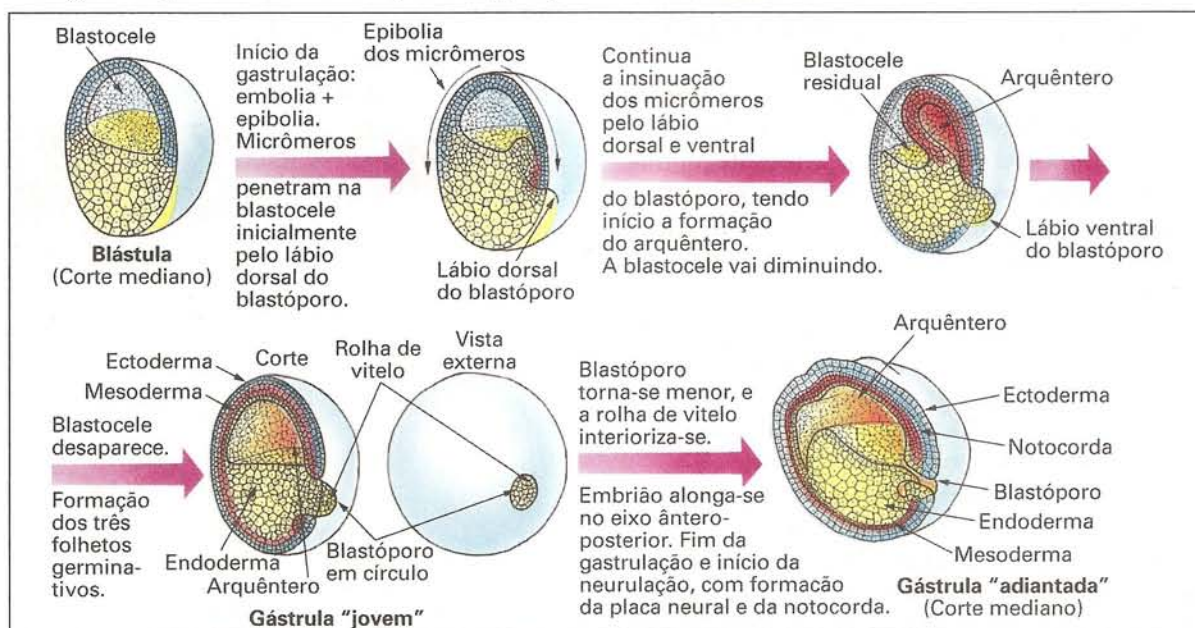


Esquema de gastrulação por embolia ou invaginação. (Cores-fantasia.)

Nas rãs a fecundação é externa, os óvulos são heterolécitos e a segmentação é total desigual. Os óvulos possuem um envoltório gelatinoso que deseca em contato com o ar. Assim, todo o desenvolvimento embrionário ocorre na água. Forma-se uma larva aquática, o girino, que sofre metamorfose, originando o adulto. Fala-se, nesses casos, em desenvolvimento indireto, pois há uma fase larval. Quando a fase larval não está presente, fala-se em desenvolvimento direto.

A gastrulação das rãs ocorre por invaginação

e também por **epibolia**. Por invaginação forma-se uma fenda: o blastoporo. Por epibolia os micrômeros passam a se dividir rapidamente e acabam por recobrir os macrômeros. Os micrômeros insinuam-se primeiramente pelo lábio dorsal do blastoporo e depois também pelo lábio ventral. O blastoporo adquire o aspecto de um círculo. Os micrômeros insinuam-se para dentro da blastoceles, delimitando o arquêntero. Ocorre também a diferenciação dos três folhetos germinativos: o ectoderma, o mesoderma e o endoderma.



Esquema de gastrulação em anfíbio. (Cores-fantasia.)

Assim, na gastrulação das rãs, além de o embrião aumentar de volume, três outras características são fundamentais:

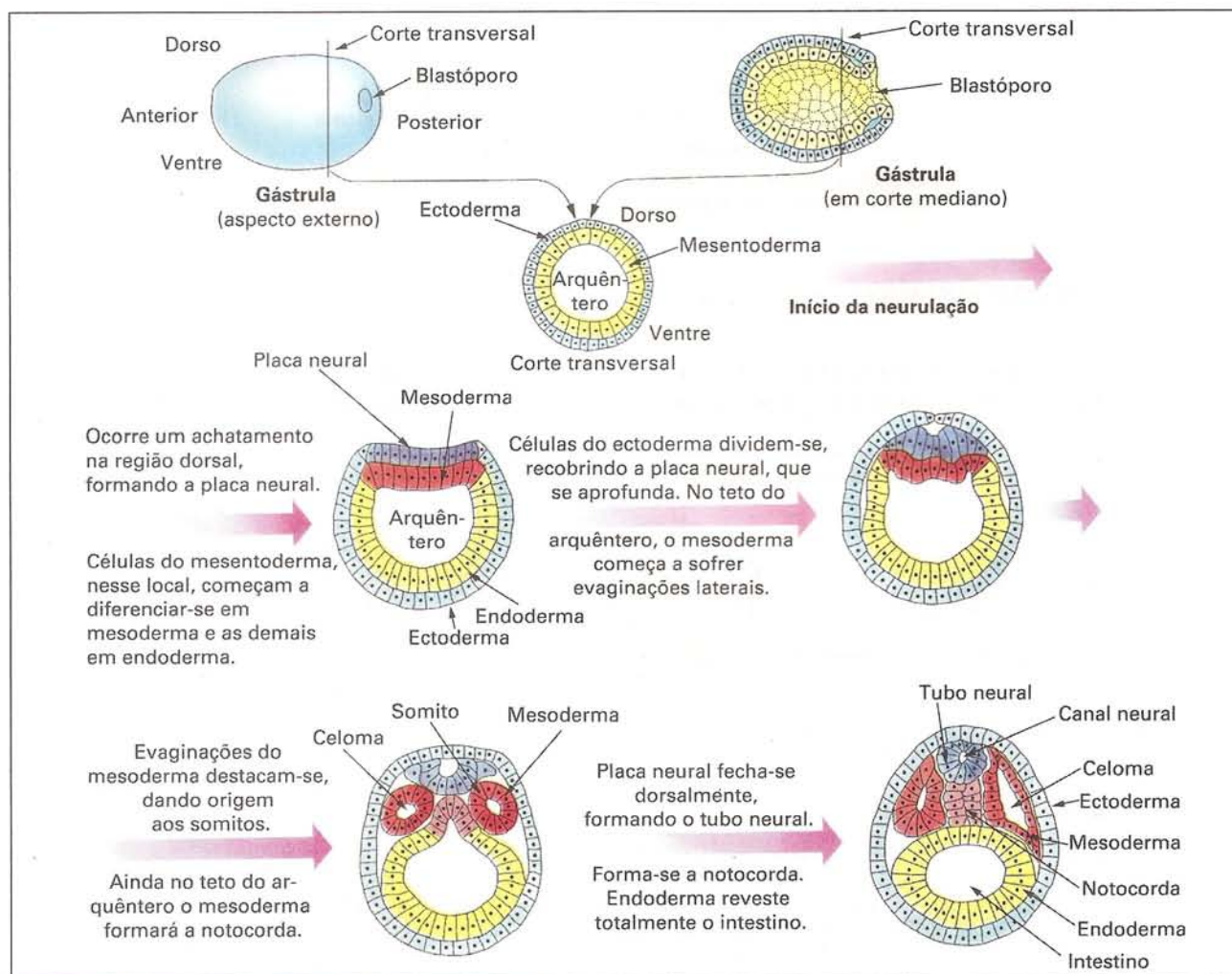
- formação dos folhetos embrionários ou germinativos, que darão origem a todos os tecidos e órgãos;
- formação do arquêntero ou intestino primitivo;
- formação do blastóporo, orifício de comunicação do arquêntero com o exterior.

O blastóporo pode dar origem à boca ou ao ânus. Quando dá origem apenas à boca ou tanto à boca quanto ao ânus, os animais são chamados de **protostômios** (*proto* = primeiro). É o caso dos vermes, dos moluscos e dos artrópodes.

Quando o blastóporo dá origem ao ânus, os animais são chamados de **deuterostômios** (*deutero* = posterior). É o caso dos equinodermos e dos cordados.

5. Organogênese em anfioxo

A terceira fase do desenvolvimento embrionário é a **organogênese**, que se caracteriza pela diferenciação de órgãos a partir dos folhetos embrionários formados na gastrulação. O esquema seguinte representa a fase inicial da organogênese: a **neurulação**. Após a neurulação, os folhetos embrionários continuam a se diferenciar, originando os tecidos especializados do adulto.



Esquema de neurulação em anfioxo. (Cores-fantasia.)

Do ectoderma diferencia-se o **tubo neural**, que apresenta no seu interior o **canal neural**. O endoderma dá origem ao **tubo digestório**. O mesoderma dá origem aos **somitos** e à **notocorda**. Os somitos são blocos celulares dispostos lateralmente no dorso do embrião, e a notocorda é uma estrutura maciça localizada logo abaixo do tubo neural.

O mesoderma delimita uma cavidade denominada **celoma**.

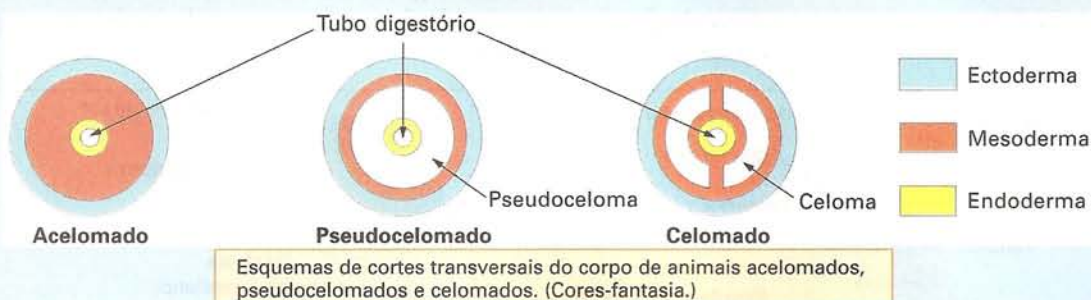
Animais celomados, acelomados e pseudocelomados

Os animais que apresentam celoma são chamados **celomados**. Todos os cordados são celomados, assim como os moluscos (lesmas, ostras), os anelídeos (minhocas) e os equinodermos (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar).

Há animais triblásticos que não apresentam celoma. Neles, o espaço entre ectoderma e endoderma encontra-se completamente preenchido por mesoderma. Esses animais são chamados **acelomados**. É o caso dos platelmintos, cujos representantes mais conhecidos são as planárias (vida livre) e as tênias (parasitas do intestino humano, também conhecidos como solitárias).

Há animais triblásticos em que o mesoderma delimita uma parte da cavidade, sendo a outra parte delimitada pelo endoderma. Esses animais são chamados **pseudocelomados**, pois o celoma só é verdadeiro quando completamente revestido pelo mesoderma. É o caso dos nematódeos, cujo representante mais conhecido é a lombriga (*Ascaris lumbricoides*), um parasita do intestino humano.

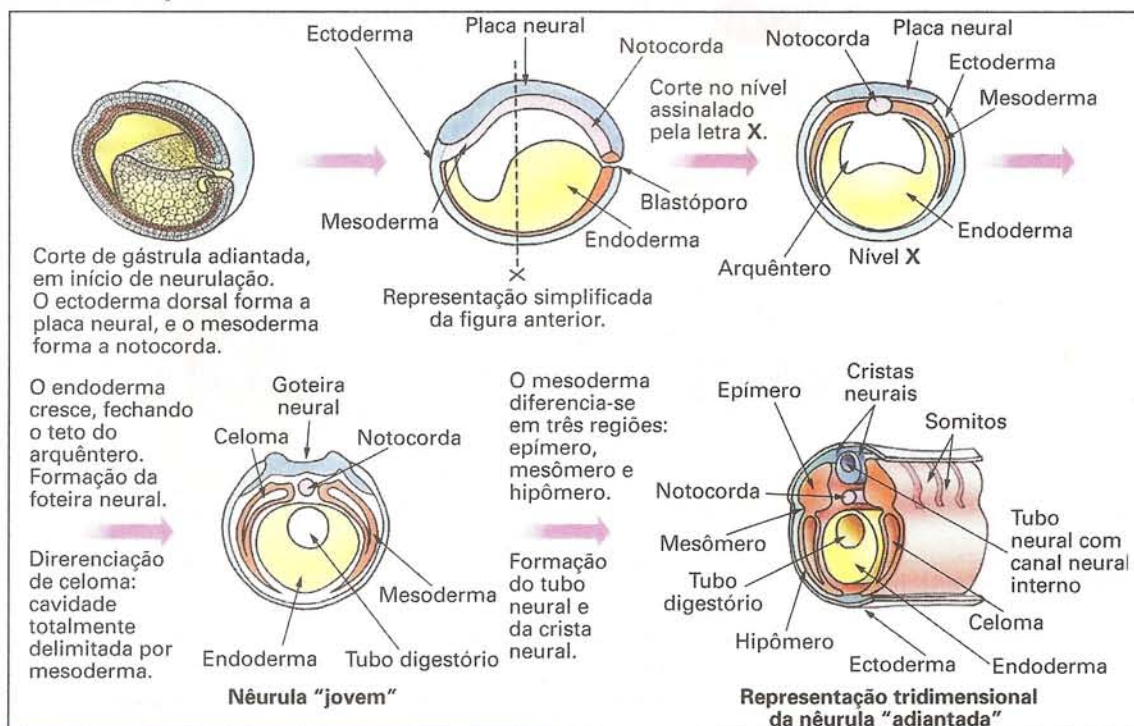
O esquema a seguir mostra cortes transversais esquemáticos em organismos acelomados, em organismos pseudocelomados e em organismos celomados:



6. Organogênese em rã

A organogênese em rã será estudada como exemplo da organogênese geral dos vertebrados.

O esquema a seguir explica de forma simplificada como ocorre a fase inicial da organogênese nesses animais: a neurulação.



Esquema de neurulação em anfíbio. (Cores-fantasia.)

Os destinos finais dos folhetos embrionários são:

Ectoderma	Mesoderma	Endoderma
• Epiderme e derivados cutâneos, como as glândulas mucosas • Todas as estruturas do sistema nervoso • Epitélio de revestimento das cavidades nasais, anal e bucal	• Derme • Músculos • Cartilagem, ossos e outros tecidos conjuntivos • Sangue, medula óssea e tecidos linfáticos • Órgãos dos sistemas genital e urinário	• Epitélio de revestimento do trato digestório (exceto cavidades oral e anal) • Fígado e pâncreas • Sistema respiratório (exceto cavidades nasais)

Células embrionárias especiais típicas e exclusivas dos vertebrados formam a **crista neural**. Essas células diferenciam-se juntamente com a formação do tubo neural a partir do ectoderma do embrião. Elas ficam dispostas ao lado do tubo neural, mas posteriores à região do encéfalo.

As células da crista neural têm a capacidade de migrar pelo corpo, dando origem a diversos tipos celulares, como neurônios sensoriais do sistema nervoso periférico, células da medula da adrenal, derme da pele da cabeça e células pigmentares da pele de todo o corpo.

Considera-se hoje que o passo definitivo na origem dos vertebrados tenha sido a evolução das células da crista neural. Nenhum outro animal as possui.

7. Anexos embrionários

Anexos embrionários são estruturas que derivam dos folhetos germinativos do embrião mas que não fazem parte do corpo desse embrião.

Os anexos embrionários são: **vesícula vitelina** (saco vitelínico), **âmnio** (ou bolsa amniótica), **cório** e **alantóide**.

7.1. Vesícula vitelina

Durante a evolução dos grupos animais, os primeiros vertebrados que surgiram foram os peixes, grupo que possui como único anexo embrionário a vesícula vitelina.

A vesícula vitelina é uma bolsa que abriga o vitelo e que participa do processo de nutrição do embrião. É bem desenvolvida não somente em peixes, mas também em répteis e aves. Os mamíferos a possuem reduzida, pois nesses animais, como regra geral, os ovos são pobres em vitelo. A vesícula vitelina não tem, portanto, significado no processo de nutrição do embrião da maioria dos mamíferos.

Nos anfíbios, embora os ovos sejam ricos em vitelo, falta a vesícula vitelina típica. Nesses animais o vitelo encontra-se dentro de células grandes (macrômeros) não envoltas por membrana vitelina própria.

7.2. Âmnio e cório

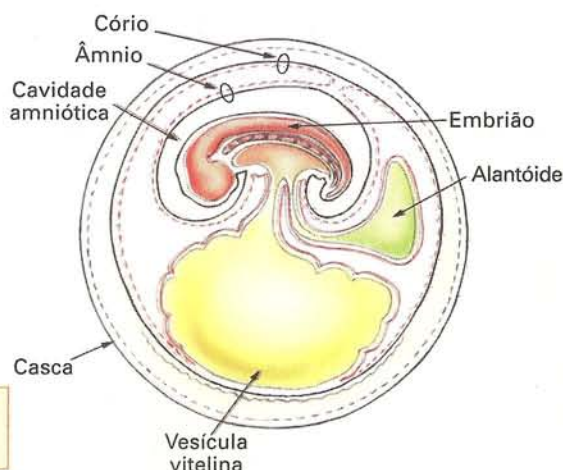
O **âmnio** é uma membrana que envolve completamente o embrião, delimitando uma cavidade denominada **cavidade amniótica**. Essa cavidade contém o **líquido amniótico**, cujas funções são proteger o embrião contra choques mecânicos e dessecação.

O **cório** ou **serosa** é uma membrana que envolve o embrião e todos os demais anexos embrionários. É o anexo embrionário mais externo ao corpo do embrião. Nos ovos de répteis e nos de aves, por exemplo, essa membrana fica sob a casca. Nesses animais, o cório, juntamente com a alantóide, participa dos processos de trocas gasosas entre o embrião e o meio externo.

7.3. Alantóide

A alantóide é um anexo que deriva da porção posterior do intestino do embrião. A função da alantóide nos répteis e nas aves é armazenar excreta nitrogenada e participar das trocas gasosas, neste último caso juntamente com o cório. A excreta nitrogenada eliminada por embriões desses animais é o ácido úrico, insolúvel em água e atóxico, podendo ser armazenado no interior do ovo sem contaminar o embrião.

Na figura ao lado representamos em corte um embrião de ave dentro do ovo, mostrando os anexos embrionários.



Esquema de corte transversal em ovo de galinha 4 dias após a fecundação. (Cores-fantasia.)

O ovo e a gema

Em aves, o termo ovo pode ser empregado para todo o conjunto formado pela casca, pela clara e pela gema; ou, então, ser usado no seu sentido estritamente embriológico: óvulo fecundado ou zigoto.

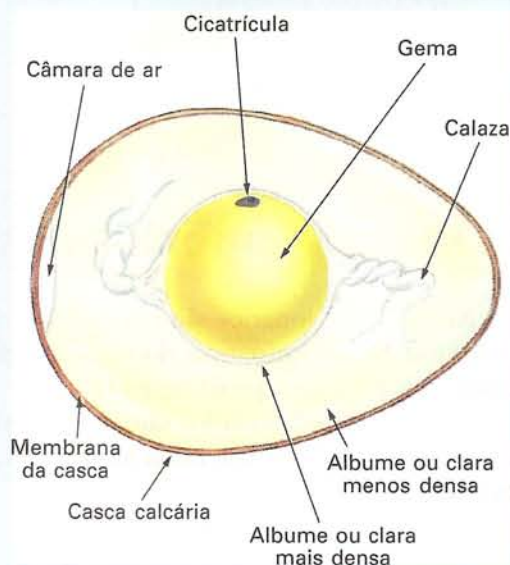
Nas galinhas, o ovócito II é liberado dos ovários e penetra no oviduto, onde poderá ser fecundado pelo espermatozóide. O desenvolvimento embrionário inicia-se no oviduto e é concluído fora do corpo da ave.

O ovo em desenvolvimento, quando ainda está na porção anterior do oviduto, é envolto por um albume denso, secretado por células glandulares da parede desse órgão e que serve de alimento para o embrião. Nessa região, além de glândulas, há pregas espiraladas que determinam a rotação do ovo quando ele passa pelo oviduto. Isso faz com que o albume envolva intimamente a gema, desse modo formando, de cada lado, uma corda enrodilhada mais opaca, denominada **calaza**.

Posteriormente, no oviduto, é novamente adicionado albume só que menos consistente. Uma película elástica é acrescentada ao redor de toda a clara. Na porção terminal, é secretada a casca calcária porosa, formada por carbonatos e fosfatos de cálcio e magnésio.

O tempo de permanência do embrião em desenvolvimento dentro do oviduto é de cerca de 24 horas, no caso das galinhas. Quando o ovo é posto, o embrião já está no final da segmentação. Após um período de incubação de 21 dias a 37,5 °C ocorre a eclosão.

A gema do ovo pode corresponder ao ovócito II quando não há fecundação, ou ao embrião quando ocorre a fecundação.



Esquema de ovo de galinha visto em corte longitudinal.

8. Placenta

O termo placenta é usado para qualquer tipo de órgão formado pelo contato íntimo entre tecido materno e anexo embrionário; a função dela é a troca de substâncias entre mãe e filho.

Através da placenta o filho recebe da mãe nutrientes e oxigênio, e passa para a mãe excretas nitrogenadas e gás carbônico. Essas trocas são

efetuadas por difusão, graças à proximidade entre os vasos sangüíneos da mãe e os do embrião.

É importante frisar que não existe continuidade física entre circulação materna e circulação fetal: os vasos sangüíneos da mãe **não** penetram no corpo do feto, nem os vasos sangüíneos do feto penetram no corpo da mãe.

A placenta ocorre nos mamíferos vivíparos, que constituem a maioria dos mamíferos. Nos mamíferos ovíparos, como o ornitorrinco e a équidna, não há placenta.

Além dos mamíferos vivíparos, a placenta ocorre em outros grupos animais, como certos peixes e répteis vivíparos.

O tipo de anexo embrionário que participa da formação da placenta varia conforme o grupo animal. Na maioria dos mamíferos vivíparos, dentre os quais está a espécie humana, a placenta é formada pela interação da mucosa uterina da mãe com os anexos embrionários cório e alantóide.

9. Desenvolvimento embrionário humano

Após aproximadamente 30 horas da fecundação, o ovo inicia a primeira divisão, dando origem a dois blastômeros. Entre o terceiro e o quarto dia após a fecundação, o embrião apresenta-se no estágio de mórula. Posteriormente, forma-se a blástula, também chamada de **blastocisto**, que chega ao útero.

O blastocisto apresenta-se como uma esfera formada por uma camada de células denominadas **trofoblastos** (*trofos* = nutrir) envolvendo uma cavidade interna em que se observa um pequeno

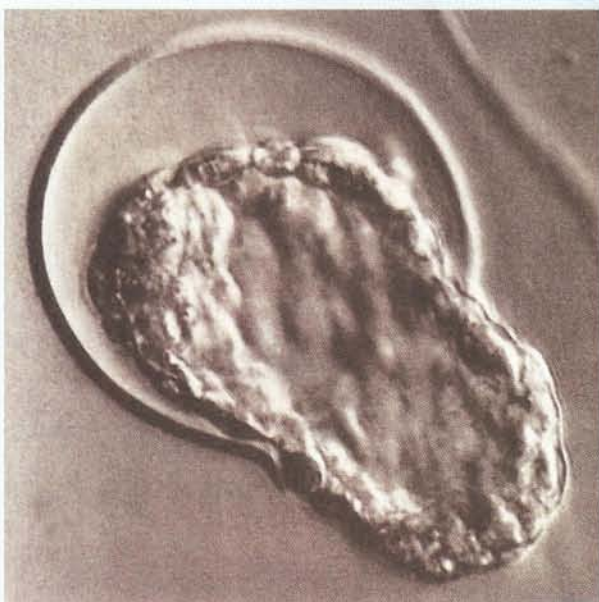
acúmulo de células denominado **botão embrionário** ou **embrioblasto**. Os trofoblastos participam da formação do âmnio, do cório, da placenta e do saco vitelínico; o botão embrionário dá origem ao embrião propriamente dito.

Enquanto está sendo conduzido da tuba uterina para o útero, o blastocisto fica envolto pela zona pelúcida. Essa proteção é essencial, pois a zona pelúcida impede a adesão do blastocisto à parede da tuba uterina. O blastocisto libera-se da zona pelúcida apenas quando chega ao útero.

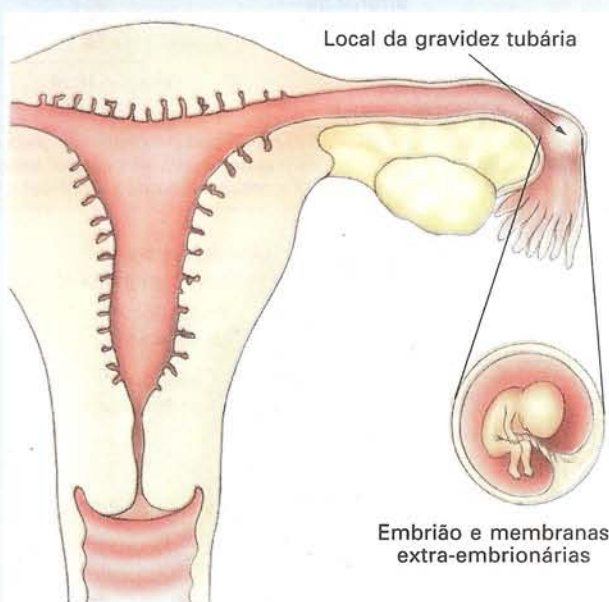
Gravidez tubária

Em alguns casos, a liberação do blastocisto de dentro da zona pelúcida ocorre na tuba uterina e ele se adere à parede dessa estrutura, provocando o que se chama **gravidez tubária**, um dos casos de **gravidez ectópica** (fora de lugar). Essa é uma condição perigosa, pois pode provocar hemorragias internas, havendo necessidade de intervenção médica o mais breve possível.

Cedoc



Micrografia de um blastocisto liberando-se da zona pelúcida. Mede cerca de 0,1 mm de diâmetro.



Esquema mostrando um tipo de gravidez ectópica: a tubária. (Cores-fantasia.)

O blastocisto implanta-se na parede uterina por volta do sexto dia após a fecundação. As células do trofoblasto dividem-se rapidamente e produzem enzimas que digerem a parede do útero, permitindo a penetração do embrião. Por volta do nono ou décimo dia o embrião encontra-se totalmente envolto pelo tecido uterino. As projeções formadas pela proliferação do trofoblasto na mucosa uterina recebem o nome de **vilosidades coriônicas**, que fazem parte do cório. Estas ficam envoltas por lacunas sangüíneas, formadas pelo sangue que escapa dos vasos sangüíneos maternos, rompidos pela ação das enzimas dos trofoblastos. Os elementos nutritivos contidos nesse sangue são aproveitados pelo embrião. Nesse estágio inicial temos a formação de uma placenta primária.

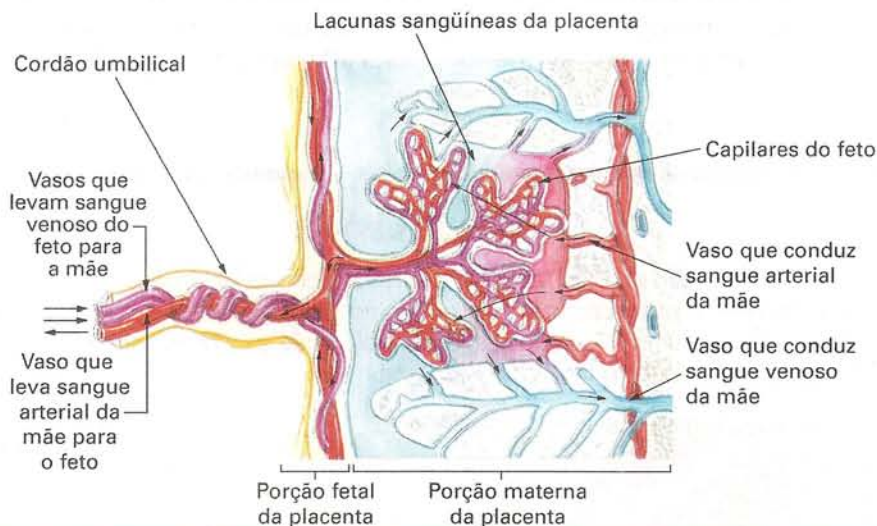
À medida que o blastocisto invade a mucosa uterina, ocorrem, também, modificações no interior do blastocisto, havendo formação da cavidade amniótica e do saco vitelínico, ficando a massa celu-

lar embrionária entre essas duas cavidades.

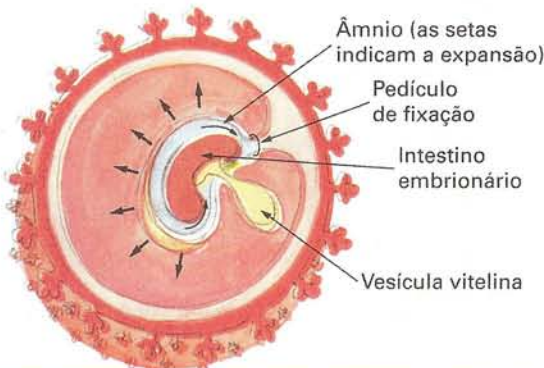
Os anexos embrionários nos mamíferos vivíparos formam-se a partir da blástula. Nos outros vertebrados ocorrem durante a organogênese. Esse desenvolvimento precoce deve-se à ausência do vitelo no ovo, havendo necessidade de nutrição extra-embrionária desde os estágios iniciais da formação do embrião.

A alantóide surge por volta do décimo sexto dia após a fecundação. É um pequeno divertículo não-funcional nos embriões humanos, mas forma os vasos sangüíneos do cordão umbilical e participa da formação da placenta.

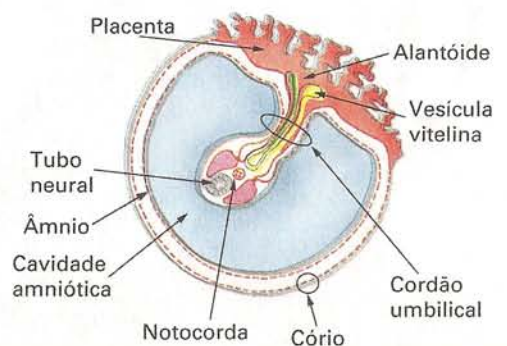
Através da placenta a mãe fornece alimento e O_2 para o feto, e o feto passa para a circulação materna CO_2 e escórias de seu metabolismo, como é o caso da excreta nitrogenada. Essas trocas são efetuadas por difusão, graças à proximidade entre vasos sangüíneos maternos e do embrião. Além disso, a placenta também tem por função produzir glicogênio, colesterol e ácidos graxos, e secretar hormônios, como o HCG (gonadotropina coriônica humana), que mantém a gravidez.



Esquema mostrando parte da placenta humana, vista em corte. O sangue materno chega à placenta por meio de vasos que conduzem sangue arterial e sai por meio de vasos que conduzem sangue venoso. O sangue do feto chega venoso à placenta pelo cordão umbilical e volta arterial para o feto. (Cores-fantasia.)



Esquema de embrião humano com cerca de 4 semanas, visto em corte longitudinal. O embrião mede cerca de 4,0 mm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Esquema de embrião humano com 8 semanas, visto em corte transversal. O embrião mede cerca de 30 mm de comprimento. (Cores-fantasia.)

À medida que os anexos embrionários se organizam, o desenvolvimento do embrião prossegue concomitantemente.

Com aproximadamente três semanas o embrião inicia a gastrulação. Logo após, no início da quarta semana, ocorre a neurulação.

Após o final do primeiro mês de gestação o embrião mede cerca de 5 milímetros de compri-

mento, o sulco neural já fechou, o coração já se formou e começam a diferenciar-se os braços e as pernas.

Após o segundo mês de gestação o embrião mede cerca de 2,5 centímetros, e praticamente toda a organogênese já terminou. A partir do final do segundo mês de gestação passamos a chamar de **feto** o indivíduo em formação.

Gêmeos

Cerca de 75% dos casos de gêmeos na espécie humana são resultado da liberação de mais de um ovócito do ovário da mãe, e cada um dos ovócitos é fecundado por um espermatozoíde. Esses são os chamados **gêmeos fraternos** ou **dizigóticos** (*di* = dois), pois se formam a partir de dois zigotos distintos.

Por serem provenientes de óvulos e espermatozoides diferentes, o patrimônio genético de um desses gêmeos é diferente do patrimônio genético do outro. A semelhança entre eles equivale à mesma que se verifica entre irmãos nascidos de gestações distintas, ou seja, eles não são idênticos, podendo ser ou não do mesmo sexo.

Os restantes 25% dos casos de gêmeos são de **gêmeos idênticos** ou **univitelinos**, ou **monozigóticos** (*mono* = um), pois são provenientes de um único zigoto. Logo no início do desenvolvimento embrionário o embrião divide-se em dois, fixando-se de modo independente no útero.

Esses gêmeos têm o mesmo patrimônio genético, sendo, portanto, do mesmo sexo.

Em algumas espécies de mamíferos é comum ocorrer o que se chama poliembrião: de um mesmo zigoto nascem vários gêmeos idênticos. No tatu, por exemplo, a cada parto geralmente nascem quatro tatuzinhos idênticos.

Na espécie humana, é raro ocorrer em um único parto o nascimento de três ou mais gêmeos.

10. O nascimento na espécie humana

O nascimento pode ocorrer por parto natural ou por cesariana:

- **parto natural** é aquele no qual a bolsa que contém o líquido amniótico se rompe e o útero, por sucessivas contrações, empurra a criança para a vagina, que se dilata; a saída da criança geralmente é feita pela cabeça; o cordão umbilical é cortado pelo médico e a placenta é eliminada;
- **parto por cirurgia cesariana** é uma intervenção cirúrgica no abdome, necessária quando o parto não evolui naturalmente.

Anomalias congênicas

Anomalias, defeitos ou malformações congênicas (congenito significa nascido com o indivíduo) são termos que se referem a defeitos de nascença. A Ciência que estuda o desenvolvimento anormal do embrião e do feto é denominada **teratologia**.

As anomalias congênicas podem ter causa genética e/ou ambiental, embora em 60% dos casos as razões não sejam exatamente conhecidas.

Vamos comentar alguns dos fatores ambientais que podem provocar anomalias congênicas. Geralmente esses fatores atuam de modo mais grave quando interferem no período embrionário (até a oitava semana de gestação), sendo menos graves no período fetal (da nona semana até o nascimento):

- **Talidomida**: tranqüilizante e sedativo amplamente utilizado na década de 1950. Nessa época provocou o que ficou conhecido como epidemia de talidomida: cerca de 12 mil crianças nasceram com defeitos causados por essa droga, que provoca desenvolvimento anormal dos membros, problemas cardíacos e renais.
- **Tetraciclina**: antibiótico que, se ingerido pela gestante, pode provocar no bebê crescimento reduzido dos ossos e manchas nos dentes.

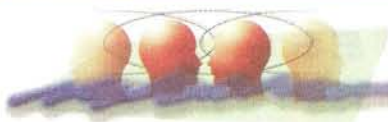
- **Cocaína:** droga ilegal que, se usada pela gestante, pode causar microcefalia (encéfalo pequeno) e anomalias urogenitais no feto, além de distúrbios neurocomportamentais no bebê.
- **Ácido retinóico (vitamina A):** essa vitamina tem efeitos teratogênicos se ingerida em doses elevadas durante a gestação, especialmente da terceira à quinta semana depois da fecundação. Provoca defeitos na face, anomalias cardiovasculares e nos rins do bebê.
- **Nicotina:** induz à constrição nos vasos sanguíneos do útero, reduzindo o suprimento de oxigênio e nutrientes para o embrião e/ou feto. Assim, o bebê pode ter seu desenvolvimento mental prejudicado e nascer com peso abaixo do normal (menos de 2 kg), o que é uma das causas de morte neonatal.
- **Vírus da rubéola:** infecções por esse vírus, no primeiro trimestre da gravidez, têm uma chance em seis de provocar catarata, malformações cardíacas ou surdez na criança. Quanto mais cedo essa doença for contraída na gravidez, maior será o risco de malformações no bebê.
- **Vírus da catapora (varicela):** quando contraído durante os primeiros quatro meses de gestação provoca, entre outras anomalias, cicatrizes na pele do bebê, atrofia muscular, dedos pouco desenvolvidos, lesões cerebrais, lesões oculares e retardo mental.
- **Vírus da AIDS:** mães portadoras desse vírus podem passá-lo para o bebê através da placenta ou pela amamentação. Além disso, esse vírus pode causar anomalias congênitas, como microcefalia e deformações craniofaciais.
- **Toxoplasma gondii:** protozoário que causa toxoplasmose. Se essa infecção ocorrer em gestantes, especialmente nos primeiros meses de gravidez, causará ao bebê sérios problemas decorrentes de alterações destrutivas no encéfalo e nos olhos. A toxoplasmose pode ser adquirida principalmente pela ingestão de carne crua ou malcozida, geralmente de porco ou carneiro, que contenha cistos do *Toxoplasma*. Pode também ser adquirida pelo contato íntimo com animais infectados, especialmente gatos. Acredita-se que solo e verduras possam ser contaminados por cistos do *Toxoplasma* presentes em fezes de gatos infectados; nesse caso os cistos são transportados por moscas e baratas.
- **Treponema pallidum:** bactéria causadora da sífilis, doença sexualmente transmissível. Gestantes contaminadas por essa bactéria podem dar origem a bebês com surdez congênita, dentes e ossos anormais, hidrocefalia e retardo mental.

Portanto, durante a gestação é fundamental que as mulheres tenham acompanhamento médico e sejam orientadas sobre os cuidados que devem tomar para evitar prejuízos a si mesmas e ao bebê.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Usando esquemas ou texto explique o que é clivagem, blastômero, micrômero e macrômero.
2. Monte uma tabela associando os diferentes tipos de segmentação aos diferentes tipos de ovos.
3. Diferencie mórula, blástula e gástrula.
4. Represente um corte transversal de embrião de anfioxo ao final da neurulação, indicando:
a) o tubo neural; b) a notocorda; c) o celoma.
5. Caracterize animais acelomados, pseudocelomados e celomados e dê exemplos.
6. Explique o que são anexos embrionários e diga quais são eles, mencionando as funções que cada um executa.
7. Conceitue placenta e cite os grupos animais em que ela ocorre.
8. Se lhe perguntarem o que é a gema do ovo de galinha, o que você responderá?
9. Explique o desenvolvimento embrionário humano desde a formação do zigoto até a chegada do blastocisto ao útero.
10. Qual a importância da zona pelúcida na etapa do desenvolvimento embrionário humano citada na questão anterior?
11. Diga em qual etapa do desenvolvimento embrionário de mamíferos vivíparos ocorre a diferenciação dos anexos embrionários e quais são esses anexos. Essa etapa é a mesma na qual ocorre a diferenciação dos anexos embrionários de répteis e aves? Por quê?
12. Qual a diferença entre embrião e feto?
13. Faça uma tabela indicando alguns dos tecidos e órgãos que se formam durante a organogênese humana a partir do ectoderma, do endoderma e do mesoderma.
14. Explique a diferença entre gêmeos dizigóticos e monozigóticos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Por que amamentar?

Quando um bebê nasce, precisa ser alimentado. Como mamífero que é, precisa de leite.

O leite produzido pela fêmea de cada espécie tem características particulares, propiciando nutrição específica e adequada ao filhote de cada uma dessas espécies.

Com o ser humano ocorre o mesmo.

Nos dois ou três primeiros dias após o parto, a mulher ainda não produz leite, mas sim uma secreção amarelada, chamada colostro, rica em enzimas digestivas, vitaminas e substâncias imunizadoras. Entre o terceiro e o sexto dia, em geral, a mulher passa a produzir leite, líquido branco, às vezes amarelado, fluido e de sabor adocicado. Sua composição pode variar um pouco, em função do tipo de alimentação materna, mas sua quantidade só escasseia se a nutrição da mãe for acentuadamente comprometida, como em situações de fome.

O leite materno tem a mais equilibrada proporção de gordura, de proteína, de água e de todos os nutrientes necessários ao bebê, na forma ideal para sua absorção. O leite humano contém, em média, cerca de 1% de proteínas, 4% de gordura, 7 a 11% de lactose, 0,10 a 0,45% de sais. É rico em enzimas e vitaminas e em substâncias imunizadoras. Além de nutrir melhor, pelo aleitamento materno a mãe fornece anticorpos ao bebê, que ainda não tem sua capacidade de imunização completa. Portanto, é uma fonte de defesa contra agressões de germes.

O leite de outros mamíferos pode às vezes substituir, embora imperfeitamente, o leite humano, no caso de este não poder ser administrado. Por exemplo, o leite de cabra se assemelha ao humano. O leite

de vaca, no entanto, tem várias diferenças em relação ao leite humano, como o teor de água e de gordura. O tipo de proteína contido nele produz um coágulo de mais difícil digestão para o intestino da criança. Contém um teor elevado de germes e, pela necessidade de fervura, ou de outro processo de esterilização, perdem-se enzimas e vitaminas.

A indústria tem procurado produzir leites que se ajustem às necessidades da criança, acrescentando ou retirando substâncias, para que possam ser fornecidos como alimento, sem prejuízo à saúde. Portanto, são leites muito úteis e que podem salvar a vida daquelas crianças que não têm como ser alimentadas por suas mães.

Enquanto amamenta, a mãe toma contato com o filho, aninha-o e lhe faz carinho. Esse contato é muito importante na construção do equilíbrio emocional do bebê.

É por isso tudo que se costuma dizer que amamentar é um ato de amor.

Além disso, muitos estudos demonstram que mulheres que amamentaram seus filhos têm menor risco de desenvolver câncer de mama.

Enfim, amamentar é econômico e cômodo, pois basta tomar cuidado com a higiene das mamas, sem precisar aquecer o leite, lavar e esterilizar mamadeiras e bicos.

Texto escrito especialmente para este livro pela
Profa. Dra. Ceci Mendes Carvalho Lopes, médica ginecologista do
Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo.

- Algumas mulheres não conseguem amamentar seus filhos por diversas razões. Nesses casos a alimentação do bebê pode ser feita com o uso de mamadeiras e leite materno obtido em bancos de leite ou por outros tipos de leite industrializados. Independentemente de ser com a mamadeira ou com o próprio seio, amamentar deve ser sempre um ato de amor. Algumas mulheres que poderiam amamentar seus filhos, pois produzem leite em quantidades suficientes, se negam a fazê-lo com receio de deformar os seios. Qual o seu posicionamento em relação a esse assunto?



TESTES

1. (PUC-MG) Um feto de cão teve má formação da medula espinhal. É **correto** afirmar que houve problemas no desenvolvimento embrionário:

- a) do arquênteron.
- b) da mesoderme.
- c) da endoderme.
- d) da ectoderme.
- e) do celoma.

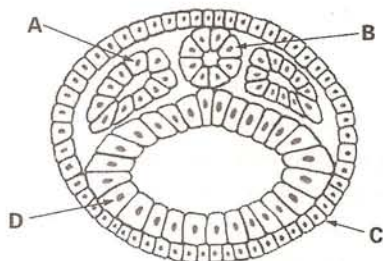
2. (UFRS) Os folhetos embrionários, através de processos de desenvolvimento e diferenciação, darão origem a diferentes estruturas nos indivíduos adultos. Considere as afirmações abaixo relacionadas ao desenvolvimento embriológico.

- I — A ectoderme origina a medula espinhal.
- II — A mesoderme origina o tecido muscular e ósseo.
- III — A endoderme origina o tecido urogenital.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

3. (UFV-MG) Observe o esquema do embrião de um cordado, em corte transversal, e analise as afirmativas seguintes.



- I — A letra D representa a endoderme.
- II — Os pulmões originam-se a partir do folheto C.
- III — O folheto indicado por B dá origem ao cérebro.
- IV — O coração forma-se a partir do folheto indicado pela letra A.
- V — Alterações no folheto D não podem afetar as glândulas do tubo digestivo.

Indique a alternativa que contém apenas afirmativas **verdadeiras**:

- a) I, II e III.
- b) I, III e IV.
- c) III, IV e V.
- d) II e III.
- e) IV e V.

4. (UFSE) Um embrião esférico, constituído por uma única camada de pequenas células que circunda uma cavidade preenchida por um líquido, está na fase de:

- a) zigoto.
- b) mórula.
- c) gástrula.
- d) nêurula.
- e) blástula.

5. (PUC-RS) Num texto sobre embriologia de vertebrados, o tipo de blástula estudado é referido como blastocisto. Isso indica que o texto em questão refere-se à blástula que aparece em:

- a) aves.
- b) peixes.
- c) anfíbios.
- d) mamíferos.
- e) répteis.

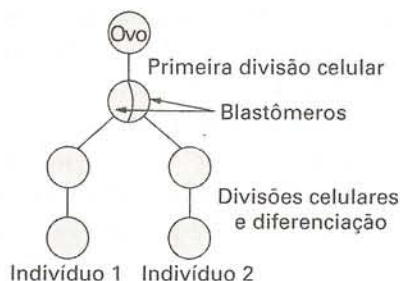
6. (PUC-PR) Analise as afirmações relacionadas ao estudo dos anexos embrionários:

- I — O saco vitelino é uma bolsa que abriga o vitelo e que participa no processo de nutrição do embrião, sendo bem desenvolvida nos peixes, répteis e aves e reduzida nos mamíferos.
- II — O âmnio é uma membrana que envolve o embrião, delimitando a cavidade amniótica, que contém o líquido amniótico, cuja principal função é de proteger o embrião contra choques mecânicos e contra a dessecação.
- III — O alantóide é um anexo que deriva da porção posterior do intestino do embrião, tendo como função, nos répteis e nas aves, armazenar excretas nitrogenadas e participar de trocas gasosas.
- IV — A placenta não é considerada um anexo embrionário, por ser um órgão formado pela interação entre tecidos materno e fetal.

Está correta ou estão corretas:

- a) Apenas III e IV.
- b) Apenas I.
- c) Apenas II.
- d) Apenas I e II.
- e) Todas.

7. (Vunesp-SP) A formação de um tipo de gêmeos pode ser explicada pelo seguinte esquema:



Da análise deste esquema, podemos concluir que estes gêmeos:

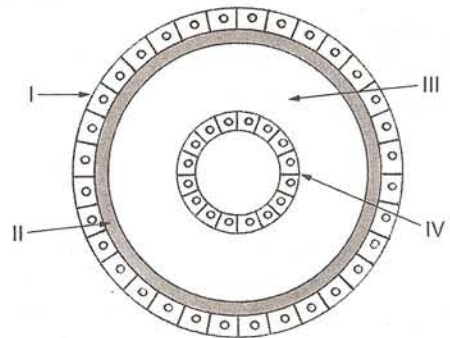
- a) resultam da fecundação de um único óvulo por dois espermatozoides.
- b) negam a possibilidade de poliembrião humana.
- c) serão siameses, ou xifópagos, porque se originam de um único ovo.
- d) poderão apresentar sexos iguais ou diferentes.
- e) terão, obrigatoriamente, sexos iguais.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Animais triploblásticos podem ser acelomados, pseudocelomados ou celomados. Considere o esquema ao lado, do corte transversal de um embrião, e responda:

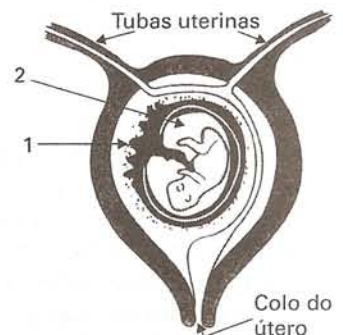
- Qual dos três níveis de organização está representado? Justifique.
- O que está indicado por I, II, III e IV?



2. (Vunesp-SP) A figura ao lado mostra um esquema do útero humano e algumas de suas estruturas.

Em relação a este esquema, responda:

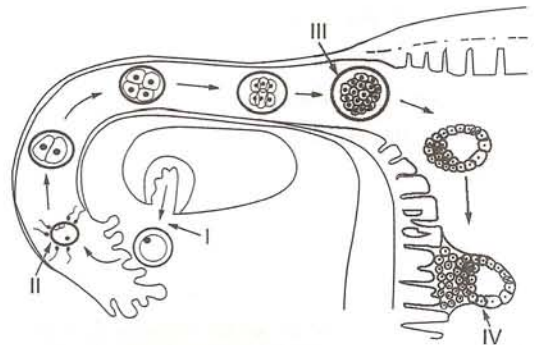
- Que nome recebe a estrutura indicada por 1?
- A seta 2 refere-se ao líquido amniótico. Qual é sua função no organismo materno?



3. (Vunesp-SP) Observe ao lado o esquema que representa parte do sistema reprodutor feminino.

Momentos após a ejaculação, vários espermatozoides percorrem a mucosa do útero e dirigem-se para uma das trompas. Parte destes espermatozoides encontram o óvulo e liberam enzimas que enfraquecem as barreiras que o envolvem. Um espermatozoide entra em contato com a superfície do óvulo, e as membranas celulares e os núcleos de ambos se fundem.

- Quais são os fenômenos ocorridos em I e II, respectivamente?
- Qual o nome da fase do desenvolvimento embrionário representada em III, e qual o processo de divisão celular ocorrido até a implantação observada em IV?



4. (UFJF-MG) O desenvolvimento embrionário da maioria dos animais, em particular dos vertebrados, compreende três (03) etapas básicas. Nomeie e caracterize, em termos gerais, cada uma delas.

5. (UFRJ) A gema do ovo de uma galinha é formada por uma única célula, o óvulo, caso não tenha sido fecundada pelo espermatozoide do galo. Nesta célula, a grande massa amarela corresponde à reserva nutritiva chamada vitelo.

Por outro lado, um animal muito maior, como a vaca, produz óvulos microscópicos.

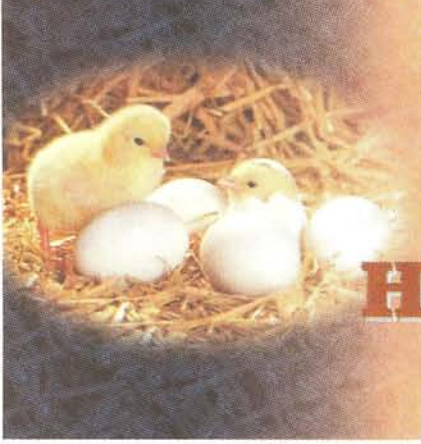
Explique por que, necessariamente, o óvulo da galinha é maior que o da vaca.

6. (UFPA) De que folheto(s) embrionário(s) provêm as estruturas sublinhadas no trecho do soneto de Augusto dos Anjos, *Monólogo de uma sombra*?

“E o que ele foi: clavículas, abdômen,
O coração, a boca, em síntese, o Homem,
— Engrenagem de vísceras vulgares —

Os dedos carregados de peçonha,
Tudo coube na lógica medonha
Dos apodrecimentos musculares”

7. (UFCE) Durante o desenvolvimento embrionário, o período de organogênese é particularmente vulnerável à ação de determinados fatores, como infecções (toxoplasmose e rubéola, por exemplo), drogas (como a talidomida) e deficiências alimentares maternas. Justifique essa vulnerabilidade.



Histologia animal

1. Tecidos: objeto de estudo da Histologia

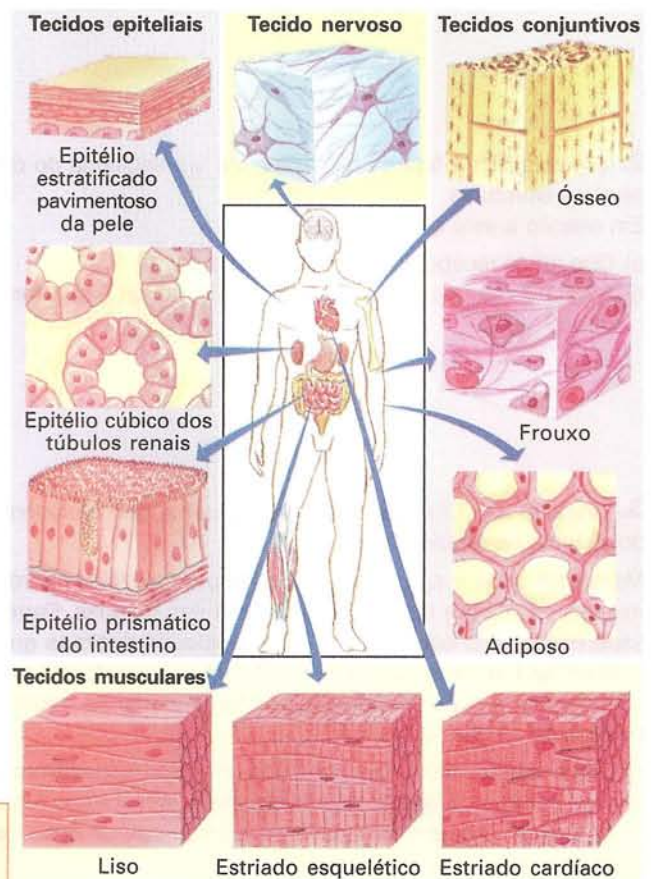
Tecidos são conjuntos de células que atuam de maneira integrada, desempenhando determinadas funções. Alguns tecidos são formados por células que possuem a mesma estrutura; outros são formados por células que têm diferentes formas e funções, mas que juntas colaboram na realização de uma função geral maior.

O ramo da Biologia que estuda os tecidos e as células que os formam é a **Histologia** (*histo* = tecido; *logia* = estudo).

Neste capítulo trataremos da Histologia animal, particularmente da humana, deixando a Histologia vegetal para quando estudarmos as plantas.

Os tecidos animais podem ser classificados em quatro tipos principais:

- tecidos epiteliais;
- tecidos conjuntivos;
- tecidos musculares;
- tecido nervoso.



Esquema de tecidos humanos com exemplos de alguns deles e sua localização no corpo. (Elementos representados fora de proporção. Cores-fantasia.)

2. Tecidos epiteliais

Os tecidos epiteliais, ou simplesmente **epitélios**, são formados por células justapostas, firmemente unidas entre si, com pouca substância entre elas (substância intercelular).

Podem ser originados de um dos três folhetos germinativos do embrião:

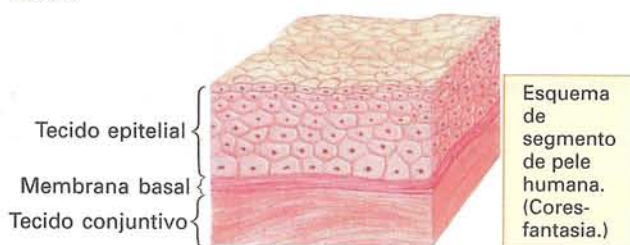
- do ectoderma originam-se, por exemplo, a epiderme e os epitélios do nariz, da boca e do ânus;
- do mesoderma origina-se o endotélio, epitélio que reveste os vasos sanguíneos;

- do endoderma originam-se, por exemplo, os epitélios que revestem o tubo digestório (exceto a boca e o ânus) e a árvore respiratória.

Todos os epitélios encontram-se assentados sobre tecido conjuntivo. Entre o tecido conjuntivo e as células epiteliais existe uma estrutura chamada **lâmina basal**, produzida pelas células epiteliais e constituída principalmente de colágeno associado a glicoproteínas.

No tecido conjuntivo, logo abaixo da lâmina basal, pode ocorrer um acúmulo de fibras reticulares,

formando, juntamente com a lâmina, a **membrana basal**.



Não há vasos sanguíneos nos tecidos epiteliais. Assim, o oxigênio e os nutrientes chegam às células desse tecido por difusão, uma vez que essas substâncias saem de capilares (vasos de pequeno calibre) localizados no tecido conjuntivo adjacente aos epitélios. Da mesma forma, resíduos do metabolismo das células epiteliais passam para o tecido conjuntivo adjacente e são removidos pelos vasos sanguíneos.

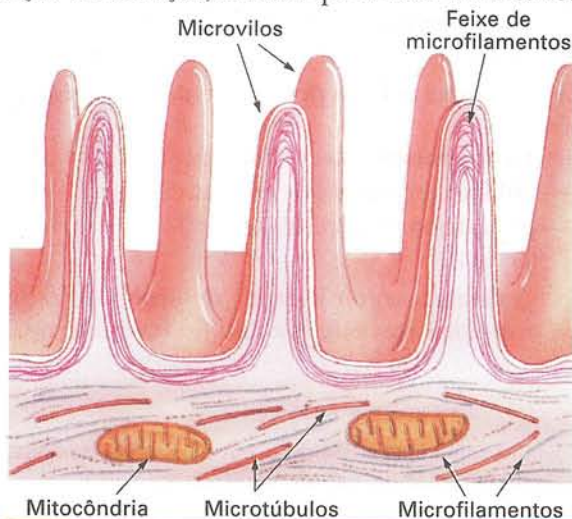
2.1. Especializações das células epiteliais

As células epiteliais apresentam dois pólos: um voltado para uma superfície livre (pólo apical) e outro voltado para o tecido conjuntivo (pólo basal).

No **pólo apical** de certas células epiteliais podem existir diferenciações relacionadas à função que os epitélios desempenham. As principais diferenciações são os **cílios** e os **microvilos** (ou **microvilosidades**).

Os epitélios que apresentam células ciliadas são genericamente chamados **epitélios ciliados**. Esse tipo de epitélio é encontrado, por exemplo, na traquéia, onde o batimento ciliar desloca muco, bactérias e partículas de poeira para o exterior do corpo, evitando que elementos estranhos penetrem nos pulmões.

Os microvilos ocorrem em epitélios que realizam função de absorção, como o que reveste o intestino.



Esquema da superfície de uma célula epitelial do intestino delgado, mostrando alguns microvilos com base em observações ao microscópio eletrônico. (Cores-fantasia.)

Os microvilos são projeções da superfície da célula em forma de dedos de luva, o que aumenta a área superficial da célula e, conseqüentemente, sua área de absorção.

Os tecidos epiteliais, especialmente os de revestimento, são altamente resistentes à tração e suas células dificilmente se separam umas das outras. As células epiteliais apresentam-se envoltas por uma camada glicoprotéica com função adesiva (**glicocálix**), que contribui para a união entre elas. Além disso, existem estruturas especializadas que participam desse processo de adesão.

As principais estruturas de adesão são: zônula de oclusão, zônula de adesão, desmossomos e junções do tipo *gap* (nexos).

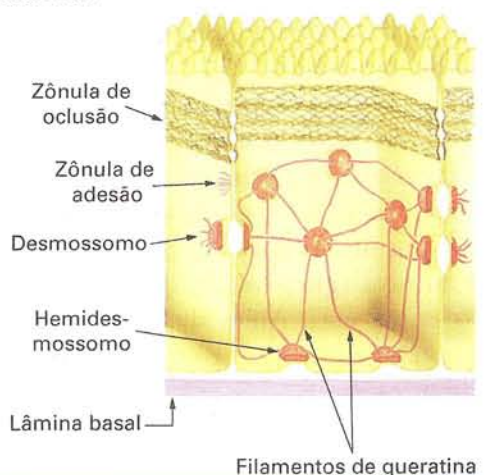
Na **zônula de oclusão** há junção entre as camadas mais externas da membrana plasmática de células adjacentes, estabelecendo uma barreira à entrada de macromoléculas no espaço entre células vizinhas. Dessa forma, as macromoléculas só podem penetrar passando pelo interior das células, o que possibilita o controle do que entra nas diferentes estruturas revestidas por epitélios.

Na **zônula de adesão**, células vizinhas estão firmemente unidas por uma substância intercelular adesiva, mas suas membranas plasmáticas não chegam a se tocar. Na face citoplasmática dessas membranas existe acúmulo de material denso, no qual se inserem microfilamentos de actina, conferindo maior resistência a essa região.

Os **desmossomos** correspondem a “discos” de adesão entre as células. São formados por duas partes que se unem, sendo uma delas localizada em uma célula e a outra, na célula vizinha. Em cada célula formam-se discos de material protéico denso (placa citoplasmática), para onde convergem filamentos de queratina que podem se estender até a placa citoplasmática de outro desmossomo da mesma célula. Como resultado, a força aplicada a um desmossomo pode ser transmitida a outros da mesma célula, aumentando ainda mais a eficiência de adesão. No espaço intercelular surgem filamentos que atuam como estruturas adesivas entre essas placas citoplasmáticas de células adjacentes.

Além de unidas entre si, as células epiteliais aderem à lâmina basal por meio de **hemidesmos-**

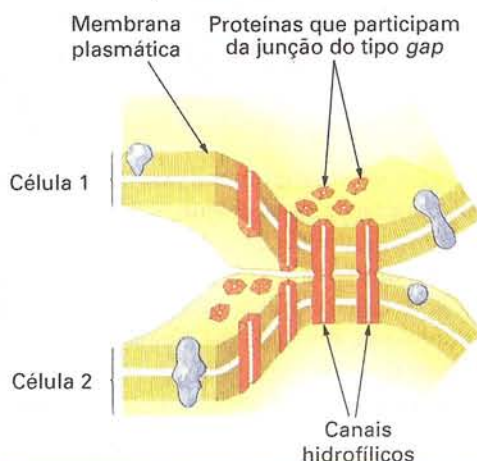
somos, cuja morfologia é semelhante à de meio desmossomo.



Esquema mostrando alguns dos tipos de estruturas de adesão das células epiteliais. (Cores-fantasia.)

Nas **junções do tipo gap** (ou **nexos**) as membranas plasmáticas de células adjacentes apresen-

tam grupos de proteínas específicas, que se dispõem formando canais que atravessam as camadas de lipídios das membranas. Esses grupos de proteínas tocam-se no espaço intercelular, estabelecendo canais de comunicação entre as células.



Esquema tridimensional da junção do tipo gap. (Cores-fantasia.)

DIFERENCIAÇÕES DA MEMBRANA PLASMÁTICA

A membrana plasmática das células epiteliais pode apresentar as seguintes modificações, que se relacionam a certas funções:

- **microvilosidades**: com função de aumento de superfície;
- **cílios**: com função de deslocamento de partículas;
- **zônula de oclusão, zônula de adesão, desmossomos e junções do tipo gap (nexos)**: com função de reforço da união entre células adjacentes.

3. Classificação dos tecidos epiteliais

Com base em sua estrutura e em sua função, os tecidos epiteliais podem ser classificados em dois grandes grupos: os de **revestimento** e os **glandulares**.

3.1. Tecidos epiteliais de revestimento

Os tecidos epiteliais de revestimento podem ser classificados quanto:

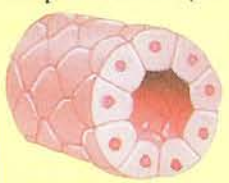
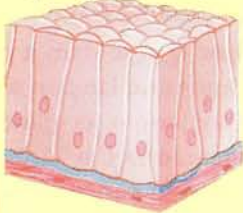
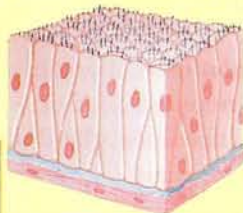
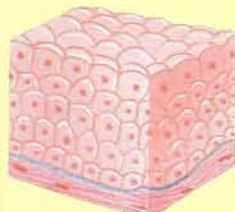
- ao número de camadas celulares:
 - **simples**: uma só camada de células;
 - **estratificado**: várias camadas de células;

— **pseudo-estratificado**: uma camada de células com núcleos em alturas distintas, dando a falsa impressão de ser formado por mais de uma camada;

- à forma das células presentes na camada superficial:
 - **pavimentoso**: suas células são achatadas;
 - **cúbico**: formado por células cúbicas;
 - **prismático**: suas células são altas, em forma de prisma.

A tabela a seguir ilustra e descreve brevemente os principais tipos de epitélio de revestimento.

Classificação dos epitélios	Estrutura e funções
Epitélio simples pavimentoso 	Formado por células achatadas e dispostas em uma única camada. Ocorre em locais do corpo onde a proteção mecânica não é fundamental. É um epitélio que permite passagem de substâncias, sendo encontrado nos alvéolos pulmonares (onde ocorrem as trocas gasosas) e revestindo os vasos sanguíneos e linfáticos. Nesses vasos recebe o nome de endotélio .

Classificação dos epitélios	Estrutura e funções
Epitélio simples cubóide (ou cúbico)  Esquema (cores-fantasia).	Formado por uma só camada de células cúbicas. Ocorre nos túbulos renais, tendo a função básica de absorção de substâncias úteis presentes na urina, devolvendo-as para o sangue. Na superfície livre das células existem invaginações que atuam aumentando a superfície de absorção, de modo semelhante ao que ocorre com as microvilosidades.
Epitélio simples prismático (ou colunar)  Esquema (cores-fantasia).	Formado por uma só camada de células altas, prismáticas. Ocorre revestindo o estômago e os intestinos. É comum a presença de glândulas mucosas unicelulares. Atua na digestão e na absorção de alimentos. Nos intestinos, a superfície livre das células é rica em microvilosidades, que aumentam a área de absorção.
Epitélio pseudo-estratificado pavimentoso  Esquema (cores-fantasia).	Formado por apenas uma camada de células com alturas diferentes, dando falso (pseudo) aspecto de estratificado (ou seja, o falso aspecto de ser formado por mais de uma camada de células). Ocorre na cavidade nasal, na traquéia e nos brônquios, onde possui cílios e glândulas mucosas unicelulares. O muco aglutina partículas estranhas que penetram no corpo pelas vias aéreas, e os cílios transportam essas partículas para fora.
Epitélio estratificado pavimentoso  Esquema (cores-fantasia).	Formado por várias camadas de células, das quais apenas as células das camadas mais inferiores possuem capacidade de divisão celular (mitose). A função desse epitélio é basicamente proteção mecânica e proteção contra a perda de água. Ocorre em áreas de atrito, como na pele e nas mucosas bucal e vaginal.
Epitélio estratificado de transição  Esquema (cores-fantasia).	Modificação especial do epitélio estratificado pavimentoso, em que o número de células e suas formas variam de acordo com a distensão do órgão. Ocorre revestindo a bexiga urinária.

A renovação das células epiteliais

A mitose é um processo freqüente nas células epiteliais, as quais têm vida curta e precisam ser constantemente renovadas. A velocidade dessa renovação varia de epitélio para epitélio. As células que se renovam mais rapidamente são as do epitélio intestinal: num prazo de 2 a 5 dias são substituídas por células novas. As que se renovam mais lentamente são as células do pâncreas, que demoram 50 dias para serem substituídas.

Na pele, a renovação da epiderme ocorre em média a cada 30 dias. No couro cabeludo, pode ocorrer uma disfunção em que a descamação de parte da epiderme acontece a cada 3 ou 4 dias, formando as caspas.

A transformação dos epitélios

Assim como outros tecidos, os epitélios podem sofrer **metaplasia**, que é a substituição patológica de um tipo de tecido por outro. No caso de fumantes crônicos, por exemplo, o epitélio pseudo-estratificado ciliado da traquéia e dos brônquios pode se transformar em pavimentoso pela ação irritante dos elementos presentes na composição do cigarro. Essa transformação altera a função desses órgãos, trazendo prejuízos à saúde.

3.2. Tecido epitelial glandular

As células do tecido epitelial glandular produzem substâncias chamadas **secreções**, que podem ser utilizadas em outras partes do corpo ou eliminadas do organismo. Essas secreções podem ser **mucosas**, quando espessas e ricas em muco, ou **serosas**, quando fluidas e ricas em proteínas. Podem também ser **mistas**, quando ocorrem secreções mucosas e serosas juntas.

As glândulas podem ser **unicelulares**, como a glândula caliciforme (que ocorre, por exemplo, no epitélio da traquéia), ou **multicelulares**, como a maioria das glândulas.



Esquema de corte longitudinal de glândula caliciforme (unicelular). A secreção que produz é mucosa. (Cores-fantasia.)



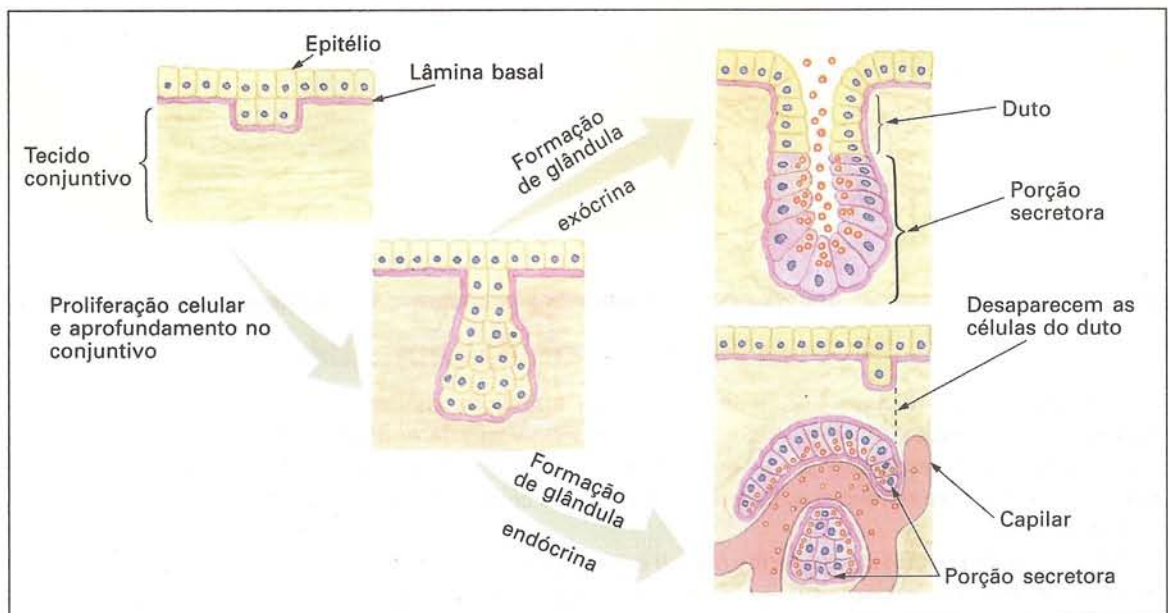
Esquema de corte longitudinal em glândula salivar (multicelular). A secreção que produz é mista: mucosa e serosa. (Cores-fantasia.)

As glândulas multicelulares originam-se sempre dos epitélios de revestimento, por proliferação

de suas células para o interior do tecido conjuntivo subjacente e posterior diferenciação.

Há três tipos de glândula multicelular:

- **glândulas exócrinas:** apresentam a porção secretora associada a dutos que lançam suas secreções para fora do corpo (como as glândulas sudoríparas, lacrimais, mamárias e sebáceas) ou para o interior de cavidades do corpo (como as glândulas salivares);
- **glândulas endócrinas:** não apresentam dutos associados à porção secretora. As secreções são denominadas **hormônios** e lançadas diretamente nos vasos sanguíneos ou linfáticos. Exemplos: hipófise, glândula tireóidea, glândulas paratireóideas e glândulas adrenais;
- **glândulas mistas:** apresentam regiões endócrinas e exócrinas ao mesmo tempo. É o caso do pâncreas, cuja porção exócrina secreta enzimas digestivas que são lançadas no duodeno, enquanto a porção endócrina é responsável pela secreção dos hormônios **insulina** e **glucagon**. Esses hormônios atuam, respectivamente, na redução e no aumento dos níveis de glicose no sangue.



Esquema comparativo da formação das glândulas exócrinas e endócrinas. (Cores-fantasia.)

4. Tecidos conjuntivos

Os tecidos conjuntivos têm origem mesodérmica. Caracterizam-se morfologicamente por apresentarem diversos tipos de células imersas em grande quantidade de material extracelular ou **matriz**, que é sintetizado pelas próprias células do tecido.

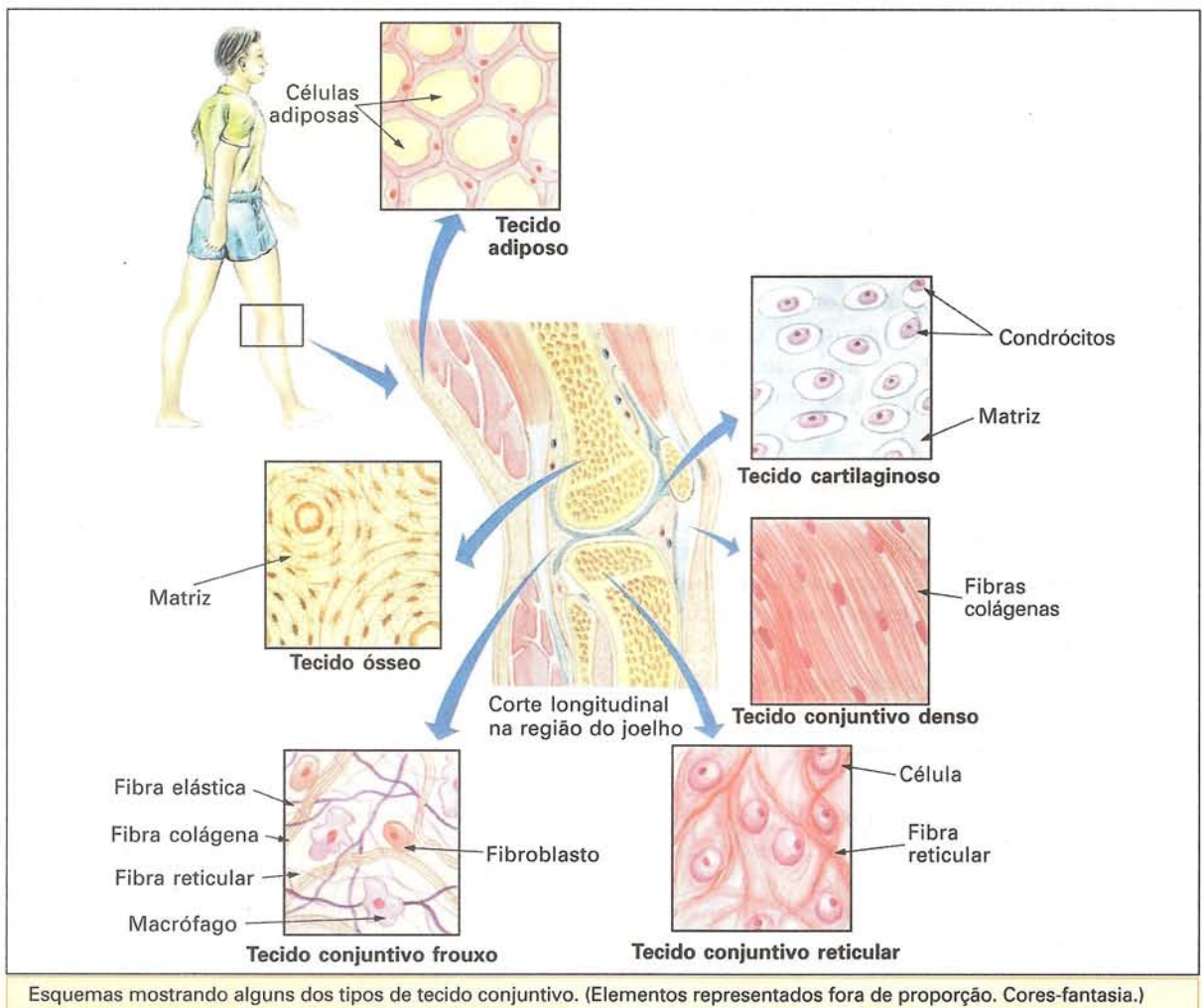
A substância extracelular é constituída por uma parte não-estruturada, chamada **substância fundamental amorfa (SFA)** ou simplesmente **substância fundamental**, e uma parte fibrosa, de natureza protéica, que são as **fibras do conjuntivo**.

Os diferentes tipos de tecido conjuntivo estão

amplamente distribuídos pelo corpo, podendo desempenhar funções de preenchimento de espaços entre órgãos, função de sustentação, função de defesa e função de nutrição.

A classificação desses tecidos baseia-se na composição de suas células e na proporção relativa entre os elementos da matriz extracelular.

Os principais tipos de tecido conjuntivo são: **frouxo, denso, adiposo, reticular** ou **hemocitopóético, cartilaginoso** e **ósseo**.

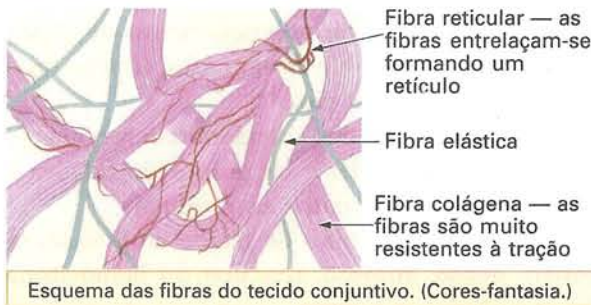


4.1. Tecido conjuntivo frouxo

O tecido conjuntivo frouxo preenche espaços não-ocupados por outros tecidos, apóia e nutre células epiteliais, envolve nervos, músculos e vasos sanguíneos e linfáticos. Além disso, faz parte da estrutura de muitos órgãos e desempenha importante papel em processos de cicatrização.

É o tecido de maior distribuição no corpo humano. Sua substância fundamental é viscosa e muito hidratada. Essa viscosidade representa, de certa forma, uma barreira contra a penetração de elementos estranhos no tecido.

As fibras desse tecido estão frouxamente unidas entre si e podem ser de três tipos: elásticas, reticulares e colágenas.



As **fibras elásticas** são formadas por proteínas fibrosas associadas à **elastina** e recebem esse nome em função de sua boa elasticidade.

As **fibras colágenas** são formadas pela proteína filamentosa **colágeno** e são muito resistentes à tração.

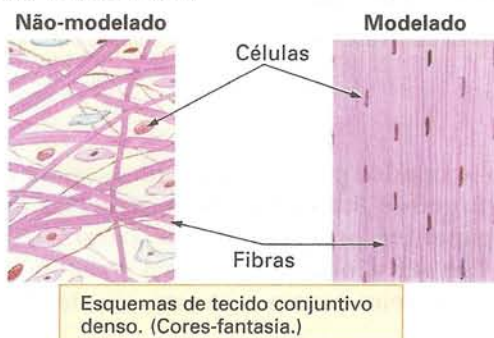
As **fibras reticulares** também são formadas por colágeno, mas são mais finas e podem se ramificar. Recebem esse nome porque se entrelaçam como se fossem um retículo.

Os principais tipos celulares encontrados no tecido conjuntivo são os **fibroblastos**, que produzem as fibras e a substância fundamental, e os **macrófagos**, células com grande capacidade de fagocitose, que capturam e digerem bactérias e outros elementos estranhos ao tecido.

4.2. Tecido conjuntivo denso

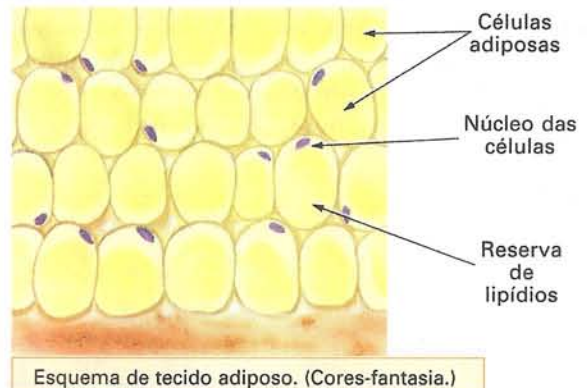
No tecido conjuntivo denso há predomínio de fibroblastos e de fibras colágenas. Dependendo do modo de organização dessas fibras, esse tecido pode ser classificado em:

- **não-modelado**: formado por fibras colágenas dispostas em feixes que não apresentam orientação fixa; um exemplo é a derme, tecido conjuntivo da pele;
- **modelado**: formado por fibras colágenas dispostas em feixes com orientação fixa, dando ao tecido características de maior resistência à tensão do que a dos tecidos não-modelado e frouxo; ocorre nos tendões.



4.3. Tecido conjuntivo adiposo

Nesse tecido a substância intercelular é reduzida, e as células, ricas em lipídios, são denominadas **células adiposas**. Ocorre principalmente sob a pele, exercendo funções de reserva de energia, proteção contra choques mecânicos e isolamento térmico. Ocorre também ao redor de alguns órgãos, como os rins e o coração.



4.4. Tecido conjuntivo reticular

O tecido conjuntivo reticular é constituído por fibras e células reticulares. Tais elementos se dispõem compondo uma delicada trama, que dá suporte a células formadoras de células do sangue.

O tecido reticular pode ser encontrado nos órgãos que têm função **hemocitopoética** (que forma as células do sangue), representados pela medula óssea vermelha, onde recebe o nome de **tecido mielóide**, e órgãos linfáticos, que são as tonsilas (amígdalas), o timo, o baço e os linfonodos (gânglios linfáticos), onde recebe o nome de **tecido linfóide**.

4.5. Tecido conjuntivo cartilaginoso

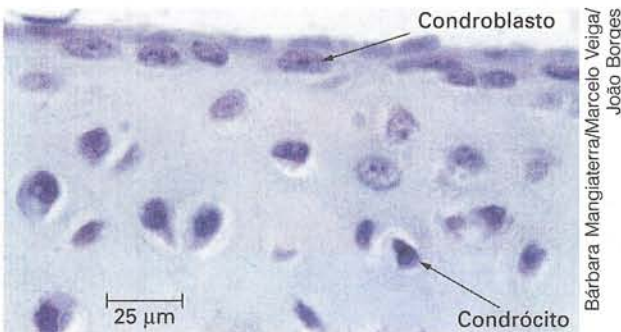
O tecido cartilaginoso, ou simplesmente **cartilagem**, apresenta consistência firme, mas não é rígido como o tecido ósseo. Tem função de sustentação, reveste superfícies articulares facilitando os movimentos e é fundamental para o crescimento de ossos longos.

Nas cartilagens não há nervos nem vasos sanguíneos. A nutrição das células desse tecido é realizada por meio dos vasos sanguíneos do tecido conjuntivo adjacente.

A cartilagem é encontrada no nariz, nos anéis da traquéia e dos brônquios, na orelha externa (pavilhão auditivo), na epiglote e em algumas partes da laringe. No feto, o tecido cartilaginoso é muito abundante, pois o esqueleto é inicialmente formado por esse tecido, que depois é em grande parte substituído pelo tecido ósseo.

Há dois tipos de células nas cartilagens: os **condroblastos**, que produzem as fibras e a substância fundamental, e os **condrócitos**, células com baixa atividade metabólica, situadas no interior de lacunas no tecido.

As fibras presentes nesse tecido são as colágenas e as reticulares.



Micrografia de corte histológico de cartilagem mostrando condroblastos e condrócitos.

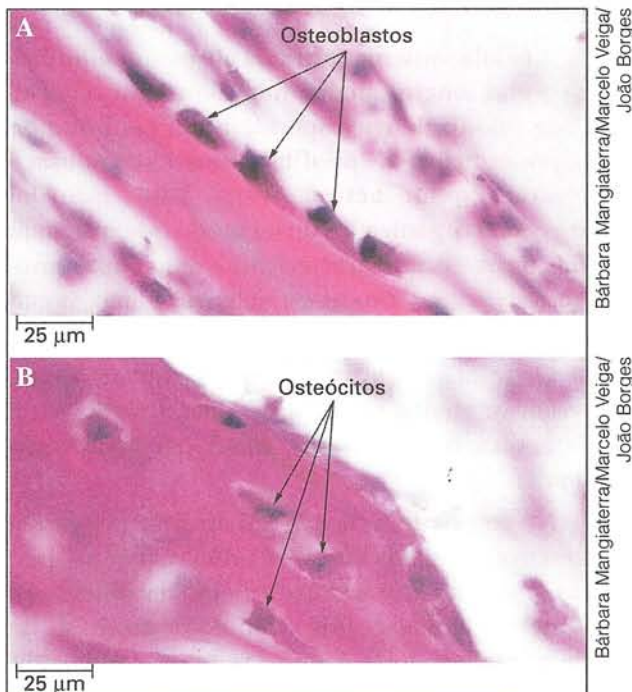
Bárbara Mangiaterra/Marcelo Veiga/
João Borges

4.6. Tecido conjuntivo ósseo

O tecido ósseo tem função de sustentação e ocorre nos ossos do esqueleto dos vertebrados.

É um tecido rígido graças à presença de substância fundamental rica em sais de cálcio, fósforo e magnésio. Além desses elementos, a matriz é rica em fibras colágenas, que fornecem certa flexibilidade ao osso.

Os principais tipos celulares encontrados nesse tecido são os **osteoblastos**, que produzem a matriz, e os **osteócitos**, que ficam em lacunas na matriz e possuem baixa atividade metabólica.



Micrografias de corte histológico de tecido ósseo mostrando: **A** — osteoblastos; **B** — osteócitos.

Bárbara Mangiaterra/Marcelo Veiga/
João Borges

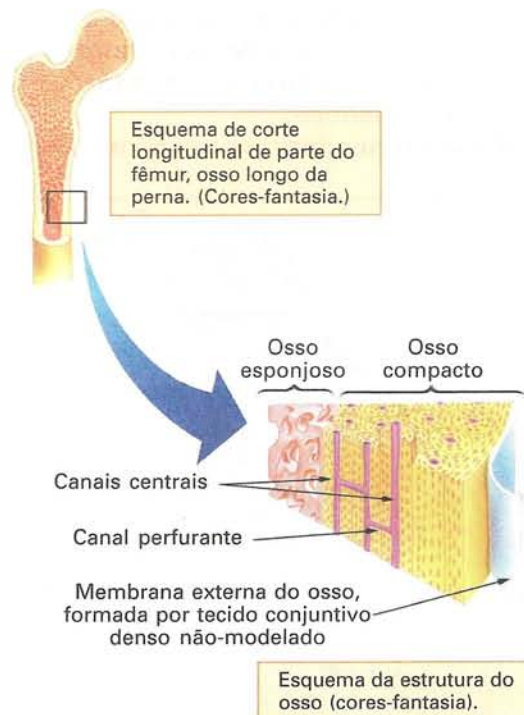
Os ossos são órgãos ricos em vasos sanguíneos. Além do tecido ósseo, apresentam outros tipos de tecido: reticular, adiposo, nervoso e cartilaginoso. Por serem uma estrutura innervada e irrigada, os ossos apresentam sensibilidade, alto metabolismo e capacidade de regeneração.

Quando um osso é serrado, percebe-se que ele é formado por duas partes: uma sem cavidades, chamada **osso compacto**, e outra com muitas cavidades que se comunicam, chamada **osso esponjoso**.

Essa classificação é de ordem macroscópica, pois quando essas partes são observadas ao microscópio nota-se que ambas são formadas pela mesma estrutura histológica.

Nos adultos, essa estrutura é composta de fibras colágenas dispostas em lamelas paralelas entre si ou em conjuntos de lamelas concêntricas em torno de um **canal central** ou **canal interno** (canal de Havers). Cada conjunto de lamelas ósseas concêntricas ao redor desse canal é chamado **sistema de Havers**.

Os canais de Havers comunicam-se entre si, com a cavidade medular e com a superfície externa do osso por meio de canais transversais ou oblíquos, chamados **canais perfurantes** (canais de Volkmann). Por esses canais também passam vasos sanguíneos e nervos.



Esquema da estrutura do osso (cores-fantasia).

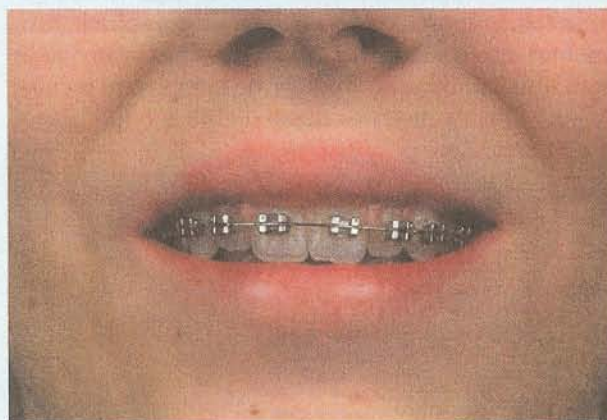
O interior dos ossos é preenchido pela **medula óssea**, que pode ser de dois tipos: **amarela**, constituída por tecido adiposo, e **vermelha**, formadora de células do sangue.

A remodelação dos ossos

Apesar de o osso ser um órgão duro e resistente, ele é capaz de remodelar sua estrutura interna em resposta a modificações nas forças a que está normalmente submetido.

O uso de aparelhos ortodônticos é um exemplo de remodelação dos ossos; neste caso, a remodelação da arcada dentária.

Os aparelhos exercem forças diferentes daquelas a que os dentes estão naturalmente submetidos. Nos pontos em que há pressão ocorre reabsorção óssea, enquanto no lado oposto há deposição de matriz. Assim, os dentes movem-se pelos ossos da arcada dentária e passam a ocupar a posição desejada.



Alex Barthe/SPL

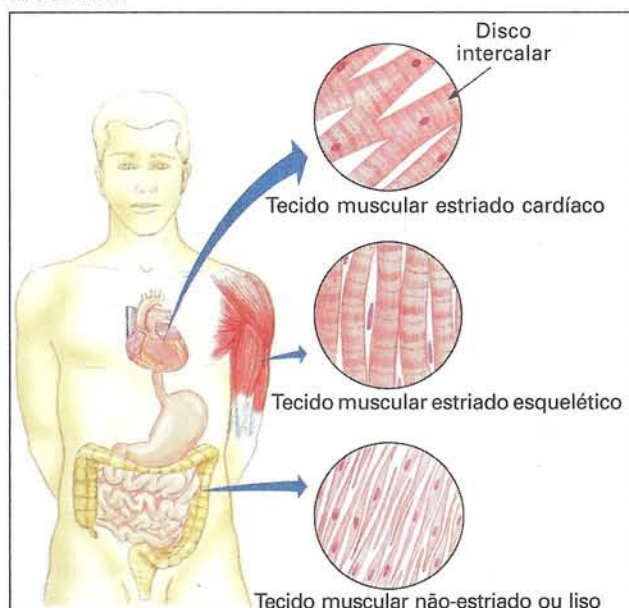
5. Tecidos musculares

Os tecidos musculares são de origem mesodérmica e relacionam-se com a locomoção e outros movimentos do corpo, como a contração dos órgãos do tubo digestório, do coração e das artérias.

As células dos tecidos musculares são alongadas e recebem o nome de **fibras musculares** ou **miócitos**. São ricas em dois tipos de filamento protéico: os de **actina** e os de **miosina**, responsáveis pela grande capacidade de contração e distensão dessas células.

Quando um músculo é estimulado a se contrair, os filamentos de actina deslizam entre os filamentos de miosina. A célula diminui em tamanho, caracterizando a contração.

A figura a seguir ilustra os três tipos de tecido muscular:



Esquema dos tipos de tecido muscular. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

5.1. Tecido muscular estriado esquelético

É formado por miócitos multinucleados, que possuem, além das estrias longitudinais, **estrias transversais**, devido à disposição dos filamentos protéicos. É a presença das estrias transversais que dá a esse tipo de tecido muscular o nome de estriado. Esse tipo de tecido ocorre nos músculos esqueléticos, que são os que apresentam contração voluntária (que depende da vontade do indivíduo).

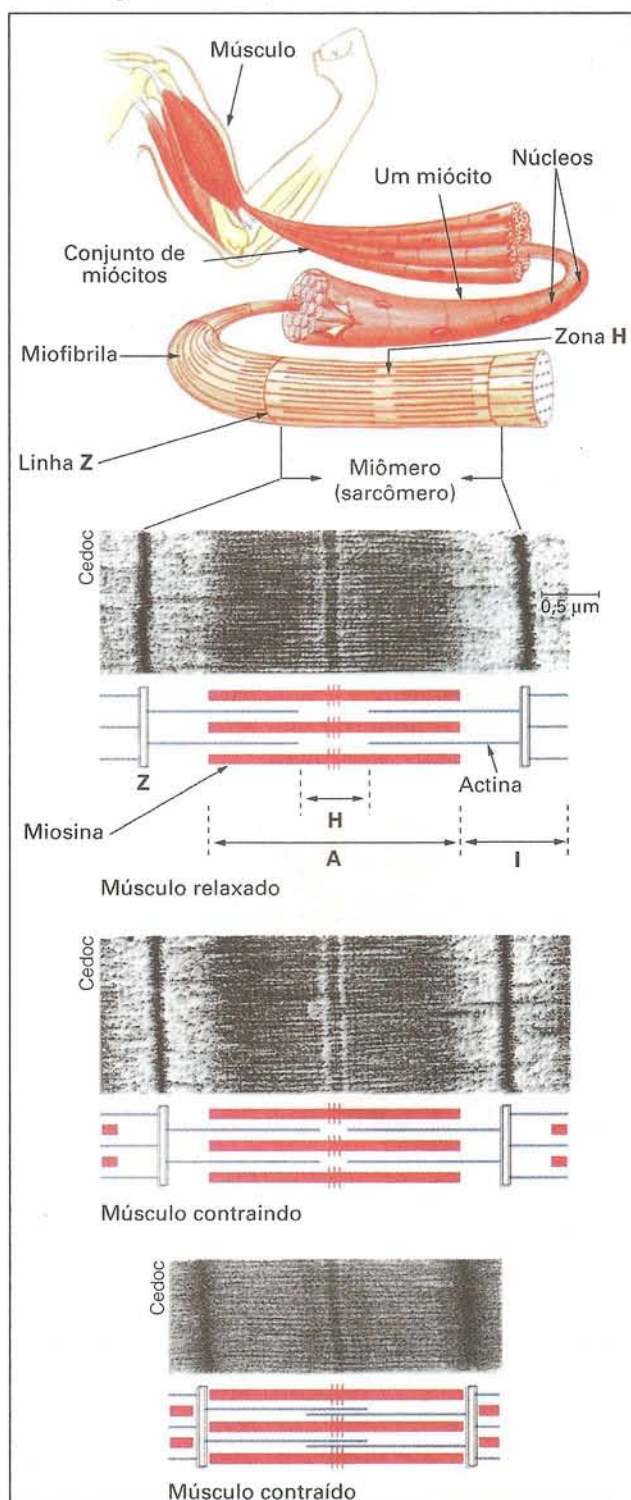
A célula muscular estriada apresenta **miofibrilas** dispostas longitudinalmente no interior da célula. Cada miofibrila corresponde a um conjunto de dois tipos principais de **miofilamentos**: os de **miosina**, espessos, e os de **actina**, finos. Esses miofilamentos estão organizados de tal modo que originam bandas transversais, características das células musculares estriadas, tanto as esqueléticas como as cardíacas.

Os miofilamentos de miosina formam bandas escuras, chamadas **anisotrópicas (banda A)**, e os de actina, bandas claras, chamadas **isotrópicas (banda I)**.

No centro de cada banda **I** aparece uma linha mais escura, chamada **linha Z**. O intervalo entre duas linhas **Z** consecutivas constitui um **miômero** ou **sarcômero** e corresponde à unidade contrátil da célula muscular.

No centro de cada banda **A** existe uma faixa mais clara, chamada **banda H**, bem visível nas célu-

las musculares relaxadas e que vai desaparecendo à medida que a contração muscular ocorre.



Esquemas e micrografias eletrônicas de transmissão de sarcômero. Um miócito mede cerca de 30 cm de comprimento. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Na contração muscular, os miofilamentos não diminuem de tamanho, mas os sarcômeros ficam mais curtos e toda a célula muscular se contrai.

O encurtamento dos sarcômeros ocorre em função do deslizamento dos miofilamentos finos sobre os grossos, havendo maior sobreposição entre eles: a banda I diminui de tamanho, pois os filamentos de actina deslizam sobre os de miosina, penetram na banda A e reduzem a largura da banda H.

Exercícios e o aumento da musculatura esquelética

Sabemos que exercícios físicos promovem o aumento da musculatura esquelética. Mas o que aumenta: o número de células no músculo ou o volume das células já existentes?

A atividade física estimula as células musculares esqueléticas já existentes a produzirem novas miofibrilas, o que ocasiona aumento do volume da célula e conseqüentemente do músculo.

No indivíduo adulto, as células da musculatura esquelética não se dividem mais. No entanto, existem células especiais, chamadas **satélites**, que são mononucleadas e pequenas e se localizam no conjunto que envolve os miócitos. Em situações muito especiais, quando o músculo é submetido a exercícios intensos, essas células podem se multiplicar e algumas delas se fundir com as fibras musculares já existentes, contribuindo também para o aumento do músculo.

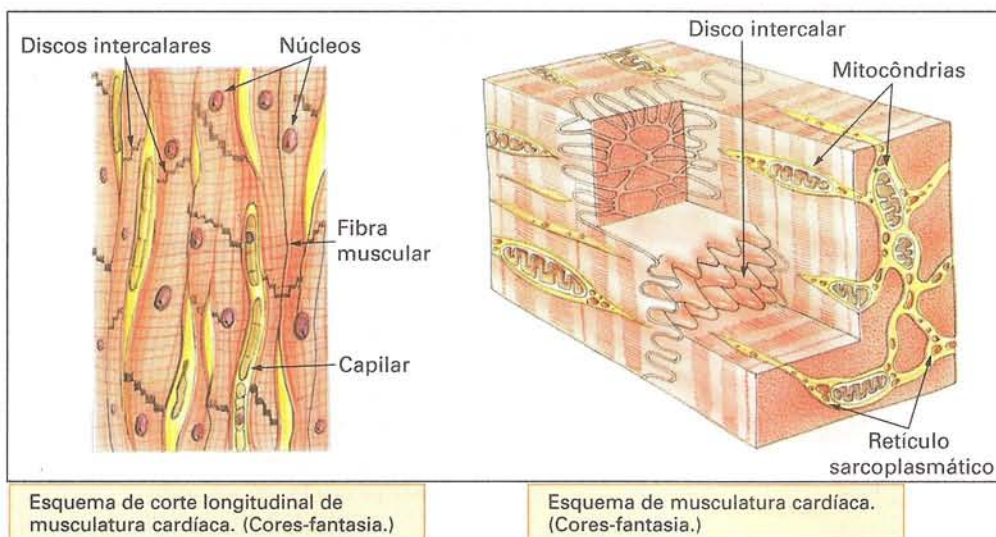
As células satélites são importantes nos processos de regeneração da musculatura esquelética quando ocorrem lesões.

5.2. Tecido muscular estriado cardíaco

Apresenta miócitos estriados com um ou dois núcleos centrais. Esse tecido ocorre apenas no coração e apresenta contração independente da vontade do indivíduo (contração involuntária). No músculo cardíaco essa contração é vigorosa e rítmica.

Essas células musculares são menores e ramificadas, intimamente unidas entre si por estruturas especializadas e típicas da musculatura cardíaca: os **discos intercalares**. Neles existem estruturas de adesão entre células que as mantêm unidas mesmo durante o vigoroso processo de contração da musculatura cardíaca. Existem também canais de passagem de água e íons entre as células, o que facilita a difusão

do sinal iônico de uma célula para outra, determinando uma onda rítmica de contração das células.



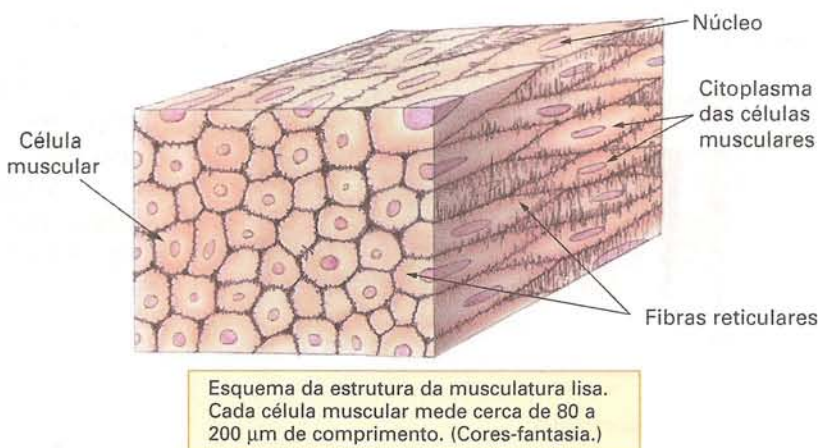
As células musculares cardíacas são capazes de auto-estimulação, não dependendo de um estímulo nervoso para iniciar a contração. As contrações rítmicas do coração são geradas e conduzidas por uma rede de células musculares cardíacas modificadas que se localizam logo abaixo do **endocárdio**, tecido que reveste internamente o coração.

Existem numerosas terminações nervosas no coração, mas o sistema nervoso atua apenas regulando o ritmo cardíaco às necessidades do organismo.

5.3. Tecido muscular liso ou não-estriado

Apresenta miócitos mononucleados e somente com estrias longitudinais, motivo pelo qual são chamados miócitos lisos. Nessas células a contração é involuntária

e lenta. Ocorre nas artérias, sendo responsável por sua contração; ocorre também no esôfago, no estômago e nos intestinos, sendo responsável pelo peristaltismo (ou peristalse) nesses órgãos. Os movimentos peristálticos são contrações em ondas que deslocam o material alimentar dentro desses órgãos do sistema digestório.



Regeneração da musculatura

No indivíduo adulto, os três tipos de tecido muscular respondem de forma distinta quando ocorre lesão por destruição parcial do músculo.

Na musculatura esquelética, como vimos, entram em ação as células satélites para reconstituir o tecido, uma vez que as células musculares adultas não se dividem mais.

Já o músculo cardíaco só é capaz de se regenerar após lesões nos primeiros anos de vida do indivíduo. Depois, forma-se uma cicatriz no local lesado, por proliferação de tecido conjuntivo.

As células musculares lisas, por outro lado, mantêm a capacidade de se dividir, e conseguem reparar o músculo lesado.

6. Tecido nervoso

O tecido nervoso tem origem ectodérmica e forma um dos sistemas responsáveis pela coordenação das funções dos diferentes órgãos: o **sistema nervoso** ou **sistema neural**.

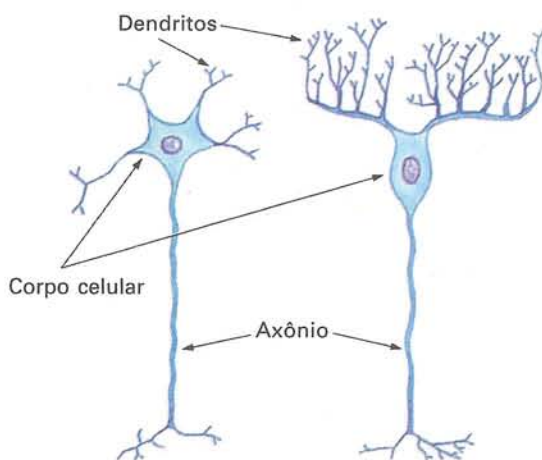
No tecido nervoso a substância intercelular praticamente não existe. Os principais componentes celulares são os neurônios e as células da glia.

As **células da glia** ou **neuróglias** são vários tipos celulares relacionados com a sustentação e a nutrição dos neurônios, com a produção de mielina e com a fagocitose.

Os **neurônios**, ou células nervosas, têm a propriedade de receber e transmitir estímulos nervosos, permitindo ao organismo responder a alterações do meio. São células formadas por um **corpo celular** ou **pericário**, de onde partem dois tipos de prolongamento: **dendritos** e **axônio**.

Os **dendritos** são prolongamentos ramificados da célula especializados em receber estímulos, que também podem ser recebidos pelo corpo celular. O impulso nervoso é sempre transmitido no sentido dendrito → corpo celular → axônio.

O **axônio** é uma expansão celular longa e de diâmetro constante, com ramificações em sua porção final. É uma estrutura especializada na transmissão de impulsos nervosos para outros neurônios ou para outros tipos celulares, como as células de órgãos efetores (musculares e glandulares).

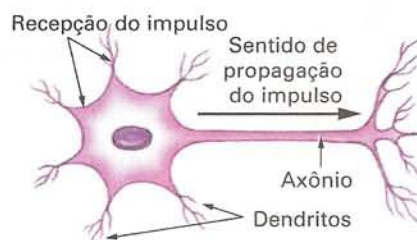


Esquema simplificado de neurônios. Em geral os neurônios são células grandes, com corpo celular medindo até cerca de 150 µm de diâmetro. Existem, no entanto, neurônios pequenos, com corpo celular medindo de 4 a 5 µm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

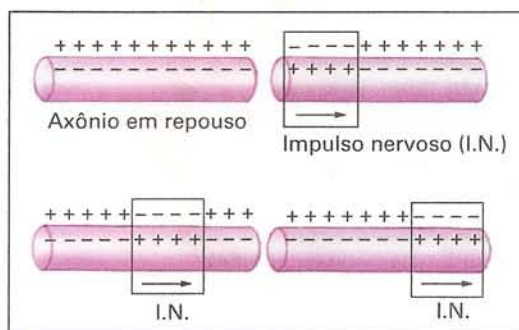
da célula). Quando essa membrana se encontra em tal situação, diz-se que está **polarizada**. Essa diferença de cargas elétricas é mantida pela bomba de sódio e potássio. Assim separadas, as cargas elétricas estabelecem uma energia elétrica potencial através da membrana: o **potencial de membrana** ou **potencial de repouso** (diferença entre as cargas elétricas através da membrana).

Quando um estímulo químico, mecânico ou elétrico chega ao neurônio, pode ocorrer alteração da permeabilidade da membrana, permitindo grande entrada de sódio na célula e pequena saída de potássio dela. Com isso, ocorre uma inversão das cargas ao redor dessa membrana, que fica **despolarizada** gerando um **potencial de ação**. Essa despolarização propaga-se pelo neurônio caracterizando o **impulso nervoso**.

Imediatamente após a passagem do impulso, a membrana sofre **repolarização**, recuperando seu estado de repouso, e a transmissão do impulso cessa.



Esquema de um neurônio. (Cores-fantasia.)



Esquema do impulso nervoso num trecho do axônio. (Cores-fantasia.)

O estímulo que gera o potencial de ação deve ser forte o suficiente para elevar o potencial de repouso além de determinado valor crítico, que varia entre os diferentes tipos de neurônio. Esse é o estímulo limiar. Abaixo desse valor o estímulo só provoca alterações locais na membrana, que logo cessam e não desencadeiam o impulso nervoso.

A membrana de um neurônio em repouso apresenta-se com carga elétrica positiva do lado externo (voltado para fora da célula) e negativa do lado interno (em contato com o citoplasma

Qualquer estímulo acima do limiar gera o mesmo potencial de ação que é transmitido ao longo do neurônio. Assim, não existe variação de intensidade de um impulso nervoso em função do aumento do estímulo; o neurônio obedece à regra do “tudo ou nada”.

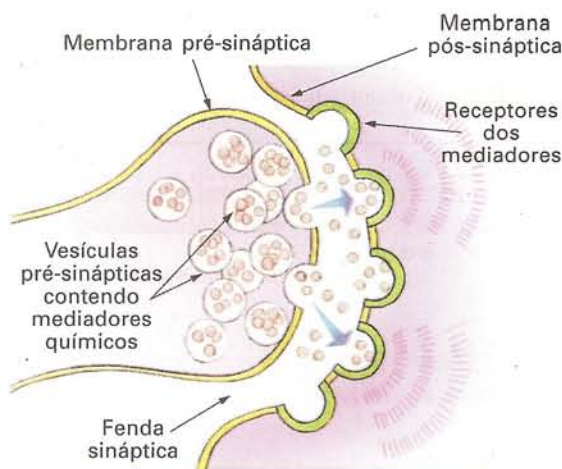
Dessa forma, a intensidade das sensações vai depender do número de neurônios despolarizados e da frequência de impulsos. Imagine uma queimadura no dedo. Quanto maior a área queimada, maior a dor, pois mais receptores serão estimulados e mais neurônios serão despolarizados.

A transmissão do impulso nervoso de um neurônio a outro ou às células de órgãos efetores é realizada por meio de uma região de ligação especializada denominada **sinapse**.

O tipo mais comum de sinapse é a química, em que as membranas das duas células ficam separadas por um espaço chamado **fenda sináptica**.

Na porção terminal do axônio, o impulso nervoso proporciona a liberação de vesículas que contêm mediadores químicos, denominados **neurotransmissores**. Os mais comuns são **acetilcolina** e **adrenalina**.

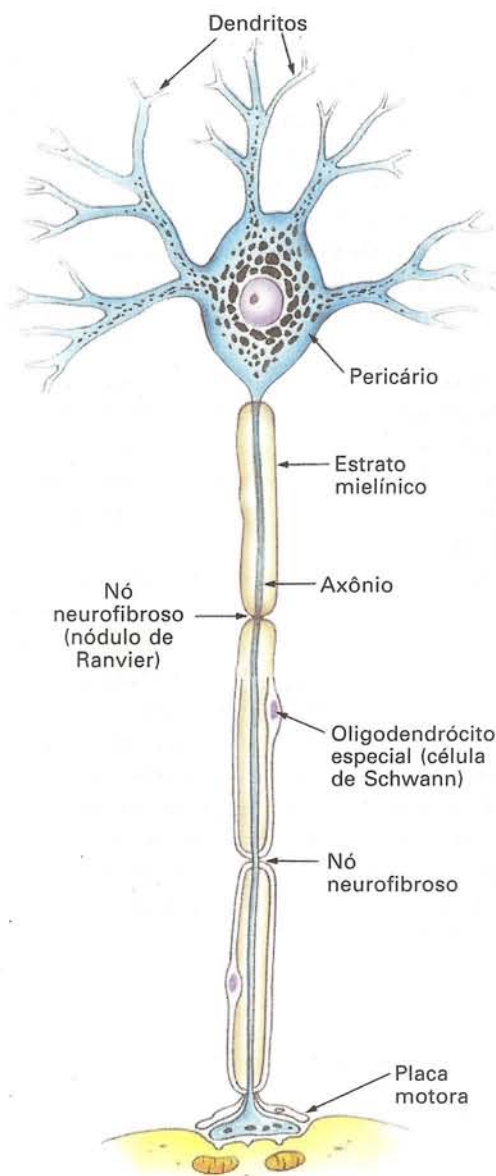
Esses neurotransmissores caem na fenda sináptica e dão origem ao impulso nervoso na célula seguinte. Logo a seguir, os neurotransmissores que estão na fenda sináptica são degradados por enzimas específicas, cessando seus efeitos.



Esquema de sinapse vista em corte.
(Cores-fantasia.)

Todos os axônios das células nervosas apresentam-se envoltos por dobras únicas ou múltiplas de células especiais da glia. O conjunto formado por axônio e envoltório é denominado **neurofibra** ou **fibra nervosa**.

As dobras envoltórias do axônio podem derivar de um tipo de neuróglio denominado **oligodendrócito** ou das **células de Schwann**, um tipo especial de oligodendrócito.

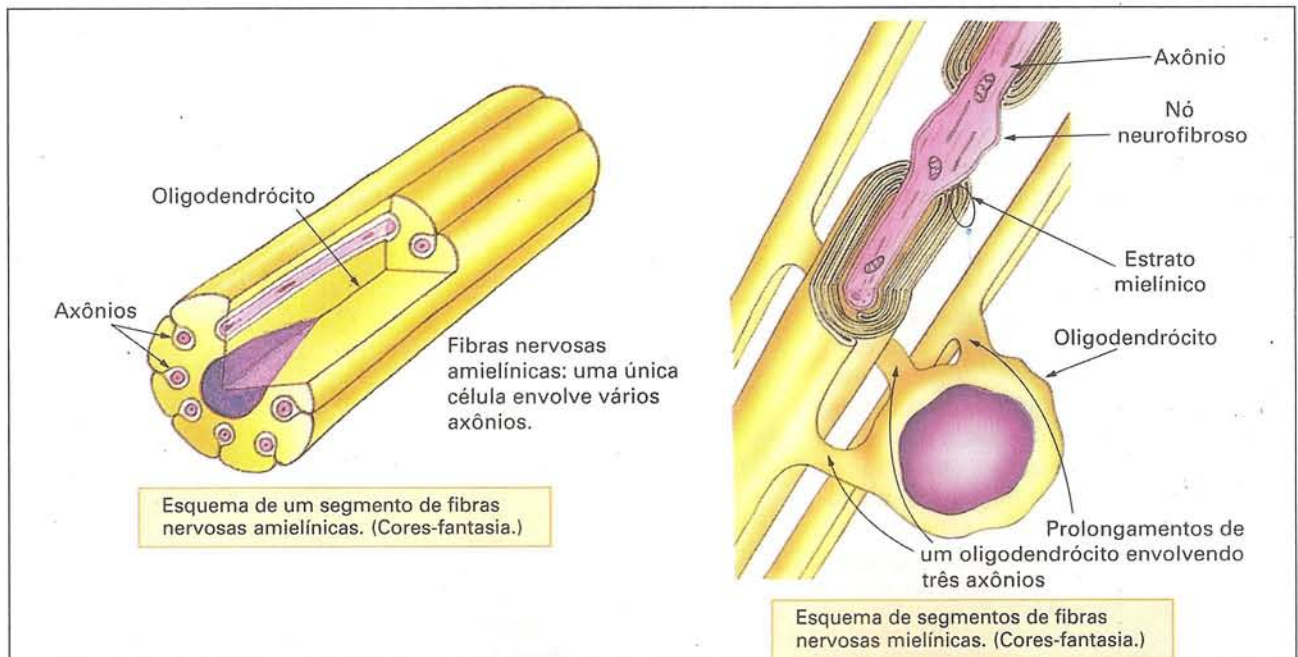


Esquema simplificado de um neurônio motor.
(Cores-fantasia.)

Os axônios envoltos por uma única dobra são denominados **fibras nervosas amielínicas**. Nessas fibras, as células envoltórias unem-se formando uma estrutura contínua, sem interrupções.

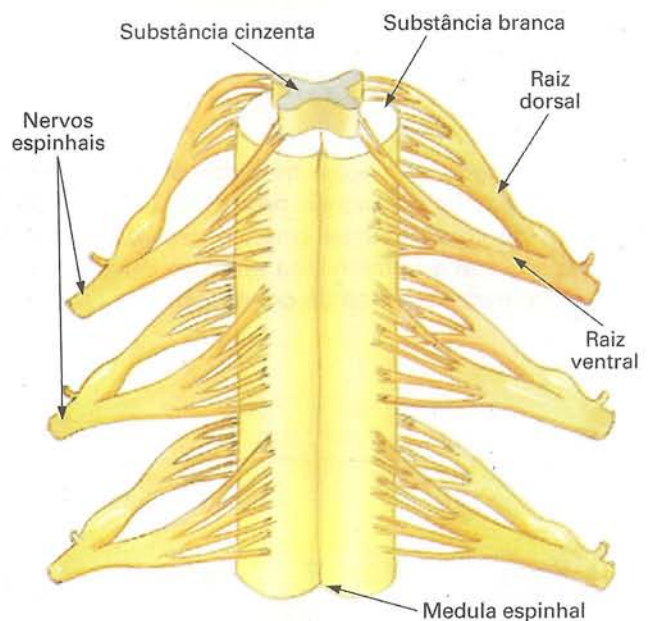
Quando a célula envoltória apresenta várias dobras enroladas em espiral ao redor do axônio, fala-se em **fibra nervosa mielínica**. A bainha formada pelo conjunto das dobras envoltórias é denominada **estrato mielínico** (bainha de mielina). O estrato mielínico não é contínuo, sendo interrompido pelos **nós neurofibrósos** ou **nódulos de Ranvier**.

A transmissão dos impulsos nervosos é mais rápida nas fibras mielínicas do que nas amielínicas.



No sistema nervoso, verifica-se que os neurônios dispõem-se diferenciadamente de modo a dar origem a duas regiões com coloração distinta entre si e que podem ser notadas macroscopicamente: a **substância cinzenta**, onde estão os corpos celulares, e a **substância branca**, onde estão os axônios. No encéfalo (com exceção do bulbo) a substância cinzenta está localizada externamente em relação à substância branca, e na medula espinal e no bulbo ocorre o inverso.

Os **nervos** são conjuntos de fibras nervosas organizadas em feixes, unidos por tecido conjuntivo denso.

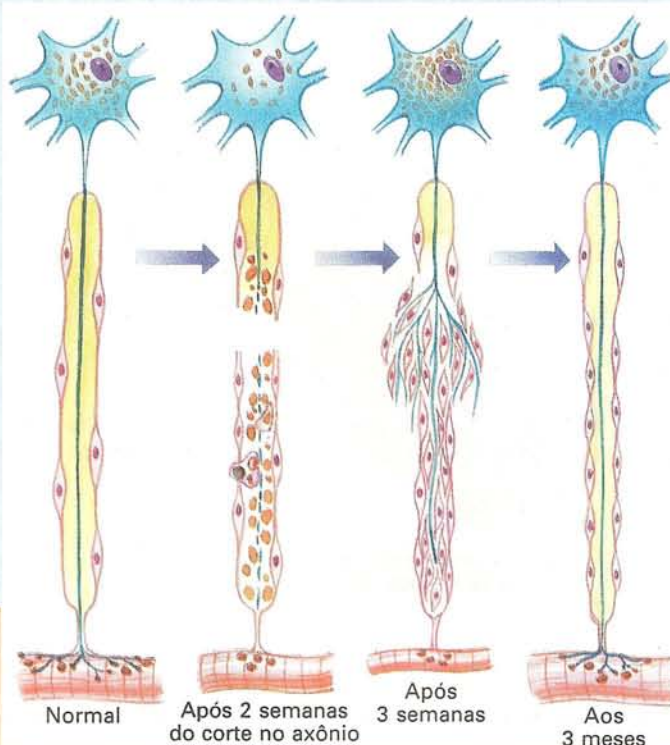


Regeneração das fibras nervosas

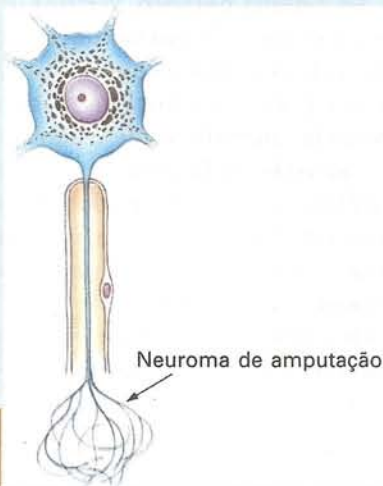
Assim como as células musculares do coração, os neurônios não se dividem mais depois de diferenciados. Desse modo, se forem destruídos, não são mais repostos.

No entanto, os prolongamentos dos neurônios podem, dentro de certos limites, sofrer regeneração, desde que o corpo celular não tenha sido destruído. Quando um axônio é cortado acidentalmente, o que ocorre no caso de ferimentos na pele, a região que fica ligada ao corpo celular é chamada **coto proximal**, e a que fica separada é chamada **coto distal**. Este último degenera e é fagocitado pelos macrófagos, que limpam a região lesada. Já o coto proximal cresce e se ramifica. Ao mesmo tempo, células que formam a bainha de mielina do coto distal modificam-se e proliferam, originando colunas celulares que servirão de guia para os ramos que estão crescendo a partir do coto proximal. Quando um desses ramos penetra nessa coluna de células, ele regenera completamente o axônio.

Esquema de neurônios motores, mostrando como a fibra nervosa pode ser regenerada após ser seccionada. Devido à falta de uso, a fibra muscular atrofia e depois da regeneração do axônio passa a ter diâmetro normal. O crescimento do axônio chega a ser de 0,5 a 3 mm por dia. (Cores-fantasia.)



Quando o espaço entre o coto proximal e o distal é muito grande ou quando ocorre uma amputação, os ramos do coto proximal crescem desordenadamente, entrelaçam-se e formam uma estrutura muito sensível à dor, chamada **neuroma de amputação**.



Esquema de neuroma de amputação. (Cores-fantasia.)

QUESTÕES PARA ESTUDO

- Procure explicar para um leigo, de forma bem simples, como pode uma célula do tecido epitelial ter a mesma constituição gênica de uma célula nervosa ou muscular. Explique também, de maneira simplificada, por que, apesar de terem a mesma constituição genética, são tão diferentes entre si.
- Com base no texto do capítulo e em seus conhecimentos, mencione exemplos de um tecido epitelial com função de revestimento, outro com função de revestimento e absorção e outro com função de secreção.
- Compare as características gerais do tecido epitelial com as do tecido conjuntivo e mencione a origem embriológica desses tecidos.
- Dentre os tecidos conjuntivos, mencione os que participam da sustentação de nosso corpo.
- Comente a seguinte afirmação: os ossos são formados principalmente pelo tecido ósseo e por isso são órgãos sem sensibilidade, não têm inervação, possuem baixo metabolismo e não têm vasos sanguíneos.

6. Compare o tecido muscular com o tecido nervoso quanto à origem embriológica e quanto às características gerais.

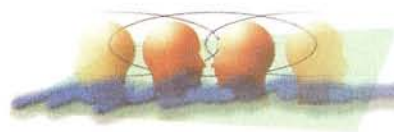
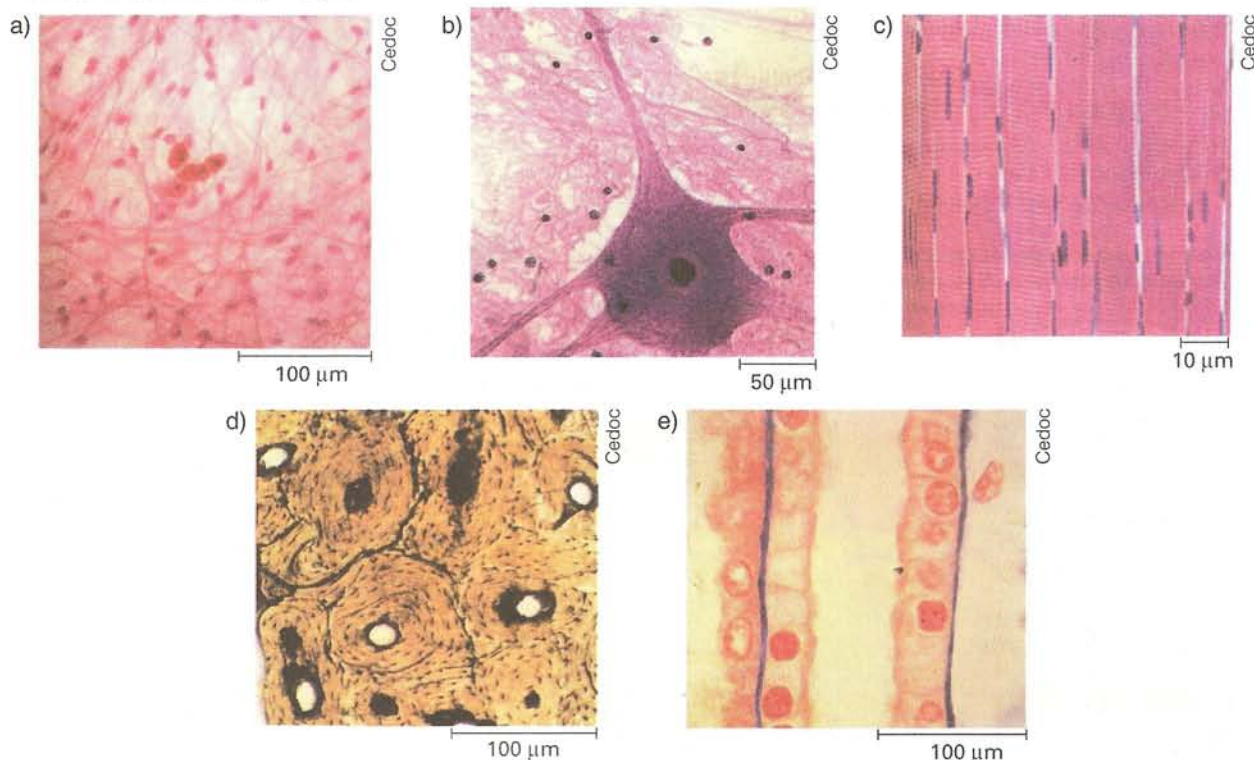
7. Comente a seguinte afirmação: o que define se o tecido muscular é estriado ou não-estriado é a presença de estrias longitudinais nas células musculares.

8. Um aluno, ao explicar a matéria ao seu colega, disse o seguinte: o neurônio segue a lei do “tudo ou nada”; assim,

qualquer estímulo que chegue ao neurônio desencadeia o impulso nervoso. Você concorda com a explicação? Por quê?

9. Represente em um desenho esquemático dois neurônios generalizados e estabeleça uma sinapse entre eles. Utilize esse esquema para explicar o funcionamento dessa célula e a transmissão do impulso nervoso de um neurônio para outro.

10. Analise os cortes histológicos a seguir, fotografados ao microscópio de luz. Identifique cada tipo de tecido e mencione suas características principais.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Células-tronco: o que são e quais questões éticas estão envolvidas

Nos últimos anos houve um enorme investimento na pesquisa com células-tronco. Em geral, célula-tronco (CT) é uma célula capaz de se transformar em diferentes tipos de célula. Um exemplo são as CTs do sangue encontradas na medula óssea, que produzem todos os tipos de células sanguíneas, como hemácias e leucócitos. No entanto, apesar de as CTs serem fonte de diferentes tipos de células, ainda não se sabe se podem se diferenciar em qualquer tipo, como neurônios.

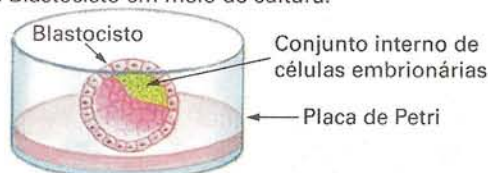
Uma classe especial de CT são as chamadas células-tronco embrionárias. Como o nome sugere, elas são derivadas de um embrião nos estágios iniciais do desenvolvimento. Nos primeiros 5 dias desse processo, as células do embrião ainda não “decidiram” se vão virar células de sangue, pele ou músculo. Por isso, ainda têm o potencial de se diferenciar em qualquer desses tipos celulares.

As células-tronco embrionárias são derivadas desses embriões de 5 dias, multiplicadas em labora-

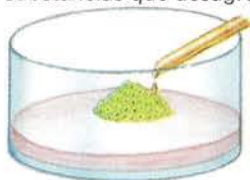
tório, e podem ser induzidas a se transformar em células sanguíneas, musculares, da pele, secretoras de insulina e até neurônios. Elas têm um imenso potencial terapêutico, mas o grande problema é que são células derivadas de embriões excedentes de processos de fertilização *in vitro*. Tais embriões, normalmente descartados com o consentimento do casal, são destruídos para extração das CTs embrionárias. Para algumas pessoas, isso significa destruir uma vida, o que seria inaceitável.

Portanto, essa é uma questão delicada, que envolve aspectos morais, culturais e religiosos.

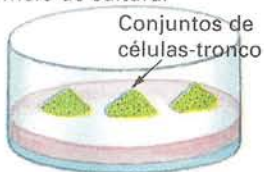
1. Blastocisto em meio de cultura.



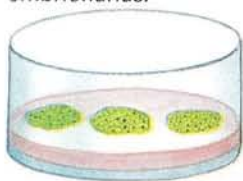
2. A camada externa de células do blastocisto é removida. São adicionadas substâncias que desagregam as células.



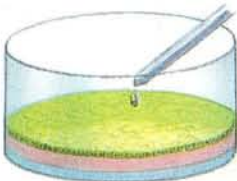
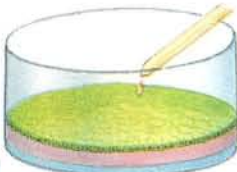
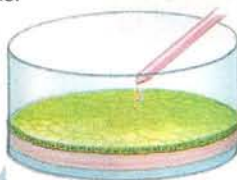
3. Os conjuntos de células são transferidos para outro meio de cultura.



4. Após uma semana formam-se várias colônias de células-tronco embrionárias.



5. Diversos fatores de diferenciação são adicionados.

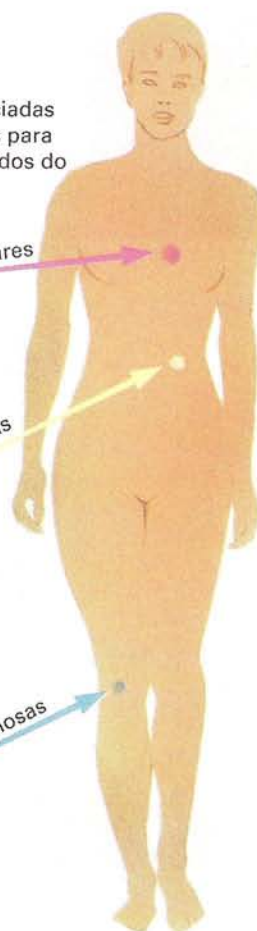


6. Células diferenciadas são transferidas para tecidos danificados do corpo humano.

Colônia de células musculares cardíacas

Colônia de células do pâncreas

Colônia de células cartilaginosas



Esquema de cultura de células-tronco embrionárias e sua diferenciação em células de vários tecidos. Essas células poderiam substituir as células lesadas de diferentes órgãos, possibilitando o tratamento e a cura de muitas doenças. (Cores-fantasia.)

Adaptado de: *Scientific American*, abr. 1999 e nov. 2000.

- Procure mais informações a respeito de células-tronco e debata com seus colegas, pais e professores. Se você fosse membro de um comitê que estabelecesse normas para a pesquisa científica ou decidisse sobre a aplicação de verbas para linhas de pesquisa, qual seria sua posição com relação às células-tronco? Que políticas você defenderia?



TESTES

1. (UFMS) O tecido glandular, cujas células são altamente especializadas na secreção de determinadas substâncias, é uma variedade do tecido epitelial.

Com relação ao tecido glandular e seus produtos de secreção é correto afirmar:

- 01. Os testículos, produtores de testosterona, e os ovários, que produzem progesterona, são classificados como glândulas endócrinas, pois lançam essas substâncias diretamente na corrente sanguínea.
- 02. A saliva é um tipo de secreção glandular.
- 04. As glândulas sudoríparas são classificadas como exócrinas, pois lançam seu produto para o exterior do organismo.
- 08. As secreções de todas as glândulas são denominadas hormônios.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

2. (UFF-RJ) O tecido epitelial do intestino apresenta microvilosidades, que correspondem a um recurso utilizado para:

- a) facilitar seu movimento.
- b) aumentar sua superfície de absorção.
- c) obter mais energia.
- d) manter sua morfologia.
- e) evitar a perda excessiva de água.

3. (UFMG) Qual dos seguintes tecidos é capaz de realizar as funções de proteção, absorção e secreção?

- a) Conjuntivo propriamente dito.
- b) Epitelial.
- c) Nervoso.
- d) Ósseo.
- e) Nenhum desses tecidos.

4. (UFF-RJ) Suponha que, após se encontrar o corpo de um ser extraterrestre (E.T.) em uma cidade brasileira, seus órgãos tenham sido encaminhados para análise. Realizou-se, então, um estudo histológico que revelou a existência de certo tecido caracterizado por células prismáticas organizadas em pseudo-estratificação com cílios na região apical.

Considere a hipótese de terem sido utilizados os conhecimentos sobre a classificação e localização dos tecidos nos seres humanos para se interpretar o resultado do estudo histológico mencionado.

Neste caso, o tecido analisado poderia ser:

- a) o tecido epitelial da traquéia.
- b) o tecido conjuntivo do oviduto.
- c) o tecido epitelial da mucosa intestinal.
- d) o tecido conjuntivo da trompa de Falópio.
- e) o tecido epitelial dos túbulos renais.

5. (UFSC) Os tecidos conjuntivos são responsáveis, basicamente, pelo preenchimento dos espaços entre estruturas do nosso organismo.

Indique a(s) proposição(ões) que é (são) verdadeira(s), em referência a esses tecidos.

- 01. A pele e as glândulas são exemplos de estruturas formadas, exclusivamente, por esses tecidos.
- 02. São ricos em substância intersticial.
- 04. O tecido adiposo localiza-se abaixo do tecido muscular.
- 08. O tecido ósseo apresenta substância intersticial muito fluida.
- 16. O colágeno é uma proteína produzida por células do tecido conjuntivo propriamente dito.
- 32. O tecido cartilaginoso forma o pavilhão da orelha e os anéis da traquéia.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (UFPI) Que tipo de músculo é responsável pela peristalse ao longo do trato digestório?

- a) Cardíaco.
- b) Voluntário.
- c) Liso.
- d) Estriado.
- e) Esquelético.

7. (UnB-DF) Leia a tabela abaixo:

Tecido	Função	Ocorrência
Muscular liso	Contração	I
Epitelial de revestimento	II	Pele
III	Defesa	Pele
Mielóide	IV	Medula óssea

Quais das associações apresentadas a seguir tornam a tabela correta?

- 0) I – Coração.
- 1) II – Proteção.
- 2) III – Tecido conjuntivo.
- 3) IV – Produção de células do tecido ósseo.

8. (Unifor-CE) Considere os componentes de um neurônio:

I. axônio II. dendrito III. corpo celular

Um impulso nervoso chega a um músculo percorrendo a sequência:

- a) I → II → III
- b) I → III → II
- c) II → I → III
- d) II → III → I
- e) III → II → I

9. (UFV-MG) Indique a alternativa que contém tecidos com maior capacidade de regeneração.

- a) Conjuntivo e epitelial.
- b) Nervoso e ósseo.
- c) Epitelial e cartilaginoso.
- d) Muscular e nervoso.
- e) Muscular e ósseo.

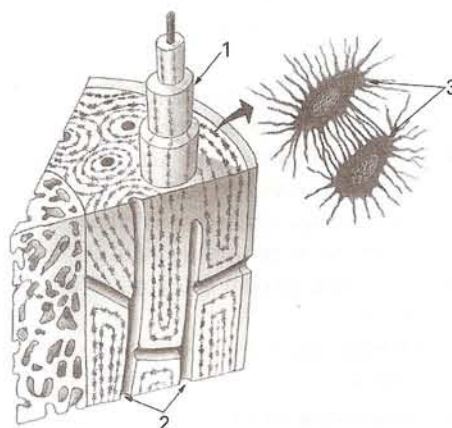


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFPR) Sabendo que as glândulas são um tipo de tecido epitelial, explique a diferença na formação de uma glândula exócrina e de uma endócrina.

2. (UFJF-MG) Numa aula prática de Biologia, algumas lâminas numeradas perderam suas identificações. Essas identificações continham desenhos esquemáticos mostrando aspectos histológicos característicos de alguns tecidos. Os desenhos que acompanhavam as lâminas estão representados ao lado. Baseando-se neles, forneça as informações pedidas:

- Identifique as estruturas assinaladas em 1, 2 e 3.
- A qual tecido pertencem as estruturas 1, 2 e 3?
- Qual a função da estrutura indicada por 1?



3. (UFPR) O tecido muscular apresenta como propriedade característica e fundamental a contratilidade, isto é, suas células se contraem quando submetidas a um estímulo.

Com relação ao tecido muscular, responda:

- Quais os três tipos de tecido muscular?
- Exemplifique os tipos de tecido muscular encontrados no corpo humano.
- Considerando os controles nervosos, ou seja, a dependência ou não em relação à vontade do indivíduo, como se dá a contração em cada tipo de tecido muscular?

4. (Fuvest-SP) Qual a origem embrionária dos órgãos que se seguem: derme, pulmão e cérebro?

5. (Unicamp-SP) Considere alguns tipos celulares diferenciados do corpo humano: neurônio, célula muscular, espermatozoide, célula caliciforme e célula epitelial. Escolha três deles e indique, para cada um, uma característica estrutural importante relacionando-a à sua função.

6. (Unesp-SP) Quando um neurônio é estimulado, várias alterações elétricas ocorrem em sua membrana (axônio), as quais são basicamente comandadas pelos movimentos de íons. Quando o nível do estímulo é suficiente, forma-se o impulso nervoso.

- Quais são os íons que comandam estas alterações elétricas que formam o impulso nervoso?
- Que nome se dá à região entre os neurônios onde ocorre a transmissão do impulso?

UNIDADE 4

Felipe F. Curcio



Seres vivos



Introdução ao estudo dos seres vivos

1. A diversidade de seres vivos

A diversidade de seres vivos variou ao longo do tempo geológico em nosso planeta. Entender essa variação e conhecer a biodiversidade atual sempre foi um desafio para os cientistas.

Diversas propostas já surgiram procurando estabelecer uma ordem na enorme diversidade de organismos, classificando-os de acordo com suas semelhanças.

Desde a Antiguidade existe uma linha de pensamento afirmando que os seres vivos são imutáveis, ou seja, que eles surgem com a forma atual e não mudam ao longo do tempo, o que é conhecido como **fixismo**. Essa interpretação, apesar de ainda ser aceita por alguns segmentos da cultura humana, começou a mudar em 1858 quando dois pesquisadores ingleses, **Charles Darwin** (1809-1882) e **Alfred Russel Wallace** (1823-1913), atuando de forma independente, revolucionaram a Biologia com a divulgação de idéias sobre evolução por seleção natural. Essas idéias são aceitas até hoje pela imensa maioria da comunidade científica e será com base nelas que analisaremos os seres vivos.

Bettmann/Corbis



Charles Darwin.

Hulton-Deutsch Collection/Corbis



Alfred Russel
Wallace.

Os sistemas de classificação que não se baseiam em relações de parentesco evolutivo entre os grupos de seres vivos são considerados **artificiais**, enquanto os sistemas que procuram compreender essa relação são chamados **naturais**.

O ramo da Biologia que trata da descrição, da nomenclatura e da classificação dos seres vivos denomina-se **taxonomia**.

Um grande marco na classificação dos seres vivos foi estabelecido a partir de 1735, com os trabalhos do médico e professor sueco **Carl von Linné** (1707-1778), cujo nome em português é Lineu. Por meio do livro *Systema Naturae* ele propôs um sistema de classificação dos seres vivos que, embora artificial, é empregado até hoje, com modificações.

Lineu e os demais naturalistas da época acreditavam que os organismos eram criados por uma divindade com sua forma definitiva e que o número dos diferentes tipos de organismos era constante desde a criação do mundo.

No sistema de Lineu a unidade básica da classificação é a **espécie**. Espécies semelhantes são agrupadas em um mesmo **gênero**. Gêneros semelhantes são agrupados em uma mesma **família**. Famílias são agrupadas em **ordens**, que são agrupadas em **classes**, que são agrupadas em **filos** ou **divisões**, que são agrupados em **reinos**.

Uma das modificações importantes no sistema de Lineu refere-se à maneira como se interpretam as relações entre os seres vivos a partir da aceitação das idéias evolutivas. Desde então a classificação dos seres vivos passou a ter um enfoque evolutivo.

Os sistemas atuais consideram um conjunto de caracteres relevantes, os quais permitem propor e testar hipóteses de relações de parentesco evolutivo e construir a **filogenia** ou **filogênese** dos diferentes grupos de seres vivos, ou seja, estabelecer as principais linhas de evolução desses grupos.

A área da Biologia que se preocupa com a taxonomia e com a compreensão da filogenia dos grupos é a **Sistemática**.

Atualmente, são sete categorias obrigatórias hierárquicas constantes dos Códigos Internacionais de Nomenclatura Zoológica (referente aos animais) e de Nomenclatura Botânica (referente às plantas):

Reino → Filo (em **Zoologia**) ou Divisão (em **Botânica**, embora também se aceite Filo) → Classe → Ordem → Família → Gênero → Espécie

Além dessas, muitas vezes utilizam-se categorias intermediárias e não-obrigatórias, como **subfilo**, **infraclasse**, **superordem**, **subordem**, **superfamília**, **subfamília** e **subgênero**.

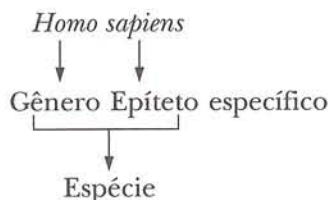
Outra categoria taxonômica não-obrigatória e que é inferior à espécie é a **subespécie**.

Lineu estabeleceu também regras de nomenclatura que são utilizadas até hoje, embora com algumas modificações.

Vejam a regra para se escrever o nome da espécie e do gênero: o nome da espécie é sempre duplo, formado por duas palavras escritas em *itálico* ou sublinhadas. A primeira palavra corresponde ao nome do **gênero** e sempre deve ser escrita com letra

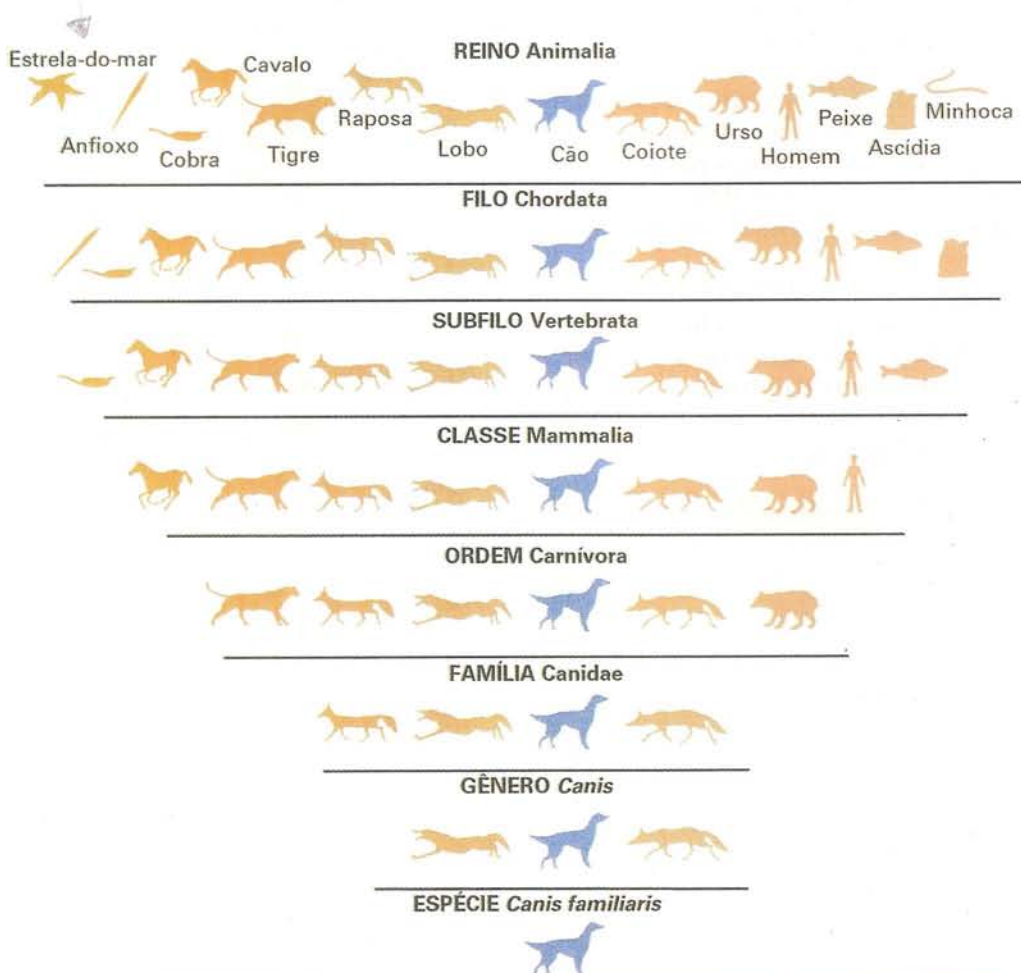
inicial maiúscula. A segunda palavra corresponde ao **epíteto específico** — palavra que especifica o gênero. Esta deve ser escrita sempre com inicial minúscula.

Como exemplo, vamos escrever o nome científico da espécie humana. O gênero ao qual pertence a espécie humana é denominado *Homo*. O epíteto específico é *sapiens*. Assim, o nome da espécie é *Homo sapiens*:



As regras de nomenclatura facilitam a comunicação entre pessoas de diferentes nacionalidades e idiomas. A espécie humana será sempre *Homo sapiens* em português, inglês, alemão, espanhol etc.

Vamos, agora, classificar a espécie do cão doméstico, desde a categoria mais geral, a de reino, até a mais específica, a de espécie:



Esquema da classificação do cão (*Canis familiaris*). (Elementos representados fora de proporção.)

2. Noções de Sistemática

Com a aceitação das idéias evolutivas, as espécies deixaram de ser vistas como grupos estáticos de seres vivos e passaram a ser assim definidas:

CONCEITO BIOLÓGICO DE ESPÉCIE

Espécie é um agrupamento de populações naturais, reais ou potencialmente intercruzantes, produzindo descendentes férteis e reprodutivamente isolados de outros grupos de organismos.

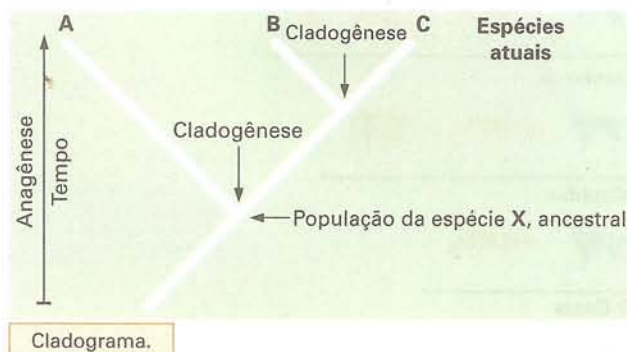
Nessa definição, a expressão “potencialmente intercruzantes” estabelece que uma espécie pode ter populações que não se cruzam naturalmente por estarem separadas geograficamente. Entretanto, se essas populações forem colocadas artificialmente em contato, haverá cruzamento entre os indivíduos, resultando descendentes férteis.

Esse conceito de espécie só é válido para organismos com reprodução sexuada, já que aqueles com reprodução assexuada são agrupados em espécies de acordo com semelhanças entre características morfológicas, fisiológicas e genéticas.

Mesmo para organismos com reprodução sexuada, essa definição apresenta limitações, pois ela não possibilita um modo prático para se identificar uma espécie: não é possível observar a reprodução em todos os seres recentes e muito menos nos fósseis.

Assim, existem outras definições de espécie, e uma delas será apresentada mais adiante.

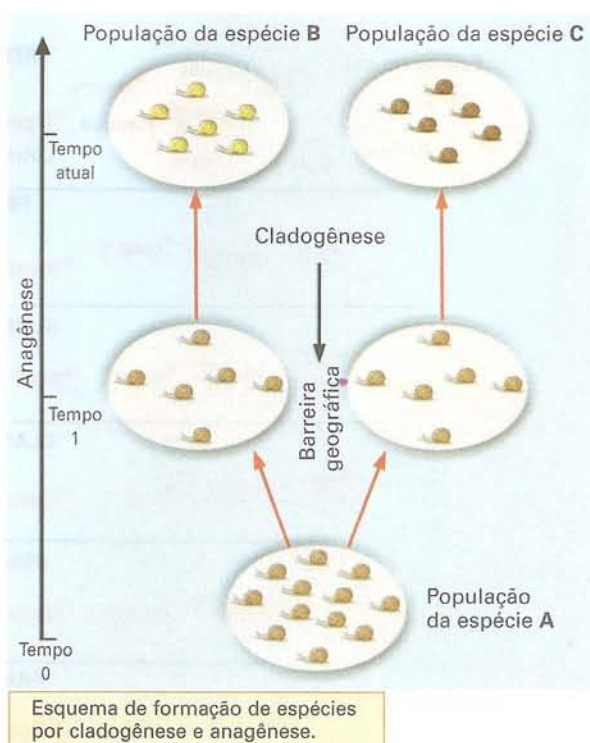
Nos dias de hoje, entende-se que a diversidade de seres vivos é resultante de processos evolutivos e que esses processos podem ocorrer basicamente por **anagênese** e **cladogênese**.



Anagênese compreende processos pelos quais um caráter surge ou se modifica numa população ao longo do tempo, sendo responsáveis pelas “novidades evolutivas”. São exemplos de eventos anagenéticos a **mutação** (alterações no material genético) e a

recombinação gênica (envolve meiose e fecundação, o que ocorre na reprodução sexuada). A **seleção natural** atua sobre a variabilidade genética da população, selecionando os organismos mais bem adaptados a uma determinada condição ambiental, mantendo ou eliminando as “novidades evolutivas” que surgem.

Cladogênese compreende processos responsáveis pela ruptura da coesão original em uma população, gerando duas ou mais populações. Um exemplo de evento cladogenético é o surgimento de barreiras geográficas separando uma população inicial em duas, que não se comunicam mais. Cada uma dessas populações, agora separadas, passa a ter sua própria história evolutiva. Em função dos eventos anagenéticos, essas populações modificam-se ao longo do tempo, podendo originar duas espécies distintas. Características vantajosas que surgem nas populações podem ser mantidas por seleção natural.



Na Sistemática, procura-se compreender a evolução dos seres vivos e classificá-los refletindo essa evolução. Saber com certeza como a evolução ocorreu é difícil, mas existem evidências, baseadas no estudo comparado dos fósseis, dos seres vivos atuais e do material genético dos organismos, que nos permitem formular hipóteses, algumas mais confiáveis do que outras.

3. Sistemática evolutiva e filogenética

Duas principais escolas de classificação baseiam-se em princípios evolutivos: a **evolutiva**, que é a mais tradicional, e a **filogenética** ou **cladística**, que começou a ganhar a preferência dos pesquisadores a partir de 1966, com a divulgação dos trabalhos de **Willi Hennig** (1913-1976), cientista alemão que estudava insetos.

A grande crítica que a escola filogenética faz em relação à evolutiva é que nesta falta um método adequado para testar hipóteses. A escola filogenética desenvolveu esse método, e por meio dele os cientistas esperam conseguir estabelecer melhor as relações evolutivas entre os diferentes grupos de seres vivos, com a menor subjetividade possível.

Para isso, considera-se grande número de caracteres, que podem ser anatômicos, fisiológicos, comportamentais ou moleculares, dentre outros. Como a quantidade de informações geralmente é enorme, os dados muitas vezes são trabalhados por meio de programas especiais de computador, elaborados para se tentar definir as relações evolutivas entre os organismos.

Quando se comparam as informações obtidas pela análise cladística com aquelas que estamos mais acostumados a ver na escola evolutiva, muitas diferenças começam a surgir. Um exemplo disso é a classe dos peixes, que é aceita como válida pela escola evolutiva mas não é aceita pela cladística, pois quando se aplica o método desenvolvido por esta escola, verifica-se que os peixes não têm origem a partir de um único grupo ancestral comum e exclusivo e, portanto, não formam um grupo válido.

Com base no estudo comparado, a sistemática filogenética procura definir para cada caráter qual é a **condição primitiva**, que ocorre em um ancestral, e qual é a **condição derivada**, que surge a partir da primitiva. Somente as condições derivadas, que correspondem às novidades evolutivas, são usadas para definir os agrupamentos.

Suponhamos, por exemplo, uma situação hipotética em que se pretende analisar o caráter “cor da asa de borboleta”, tendo-se verificado que suas variações são branco e vermelho (só devemos considerar caracteres que tenham pelo menos duas variações, pois, quando não há variação, temos pouca informação evolutiva). Precisamos saber agora qual dessas formas é a primitiva e qual é a derivada, ou seja, precisamos testar:

- se **branco** mudou para **vermelho**;
- ou se **vermelho** mudou para **branco**.

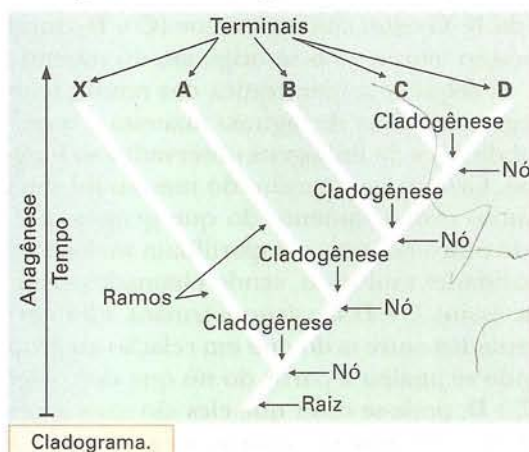
Para isso, devemos analisar **grupos externos**, que são grupos de seres vivos aparentados da borboleta e que tenham surgido antes na história evolutiva desses organismos.

A variação do caráter que estiver presente nesses grupos externos representará o estado pri-

mitivo. Se estiver presente a variação **branco**, então essa é a forma primitiva e **vermelho** é a derivada.

Os grupos são formados apenas por organismos que compartilham a condição derivada de um ou mais caracteres e que descendem de um ancestral comum exclusivo. Grupos formados desse modo são chamados **monofiléticos** (*mono* = um, único).

Em cladística, as relações entre os seres vivos são representadas por meio de diagramas chamados **cladogramas** (*clado* = ramo).



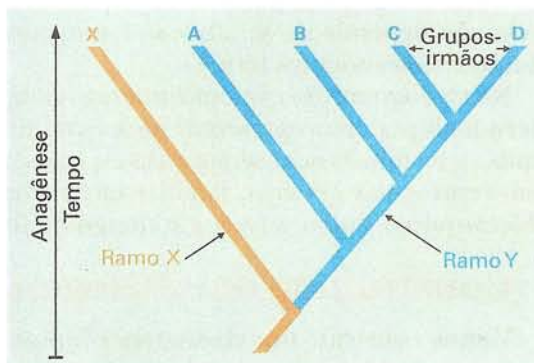
Cladograma.

Nos cladogramas, a base de onde partem os ramos é chamada **raiz**, e os grupos de seres vivos são colocados no ápice, compondo os **terminais**.

Os pontos de onde partem as ramificações são chamados **nós** e representam ancestrais comuns hipotéticos para todos os grupos de seres vivos que estão acima do nó. Todos os grupos acima de cada nó compõem grupos monofiléticos.

Os nós representam pontos onde ocorreram eventos cladogenéticos, ou seja, onde populações ancestrais se separaram e passaram a apresentar características derivadas, que surgiram por eventos anagenéticos.

A localização dos pontos de ramificação ao longo do cladograma fornece uma idéia do tempo relativo de origem dos diferentes ramos.



Cladograma.

Nesse exemplo, o ramo **X** tem a mesma idade de todo o ramo **Y** (formado pelos grupos **A + B + C + D**), pois esses dois ramos partem do mesmo nó. Entretanto, quando se compara o ramo **X** com o ramo **A**, nota-se que o **A** parte de outro nó mais apical no cladograma. Isso indica que o ramo **A** surgiu depois do ramo **X**. Essa noção de tempo, no entanto, não é absoluta, pois em geral os espaços entre os nós de um cladograma são iguais entre si. Desse modo, só podemos ter noção do tempo relativo e não do tempo absoluto do surgimento de um grupo em relação ao outro.

Utilizando esse raciocínio, podemos dizer que o ramo **B** surgiu depois do **A**, e os ramos **C** e **D** depois do **B**. Os dois últimos ramos (**C + D**) surgiram ao mesmo tempo, pois se originam do mesmo nó.

A sequência hierárquica das ramificações do cladograma reflete de alguma maneira a sequência de subdivisões de linhagens observadas ao longo do tempo. Grupos que partem do mesmo nó são mais próximos evolutivamente do que grupos que partem de outro nó, pois compartilham maior número de novidades evolutivas, sendo chamados **grupos-irmãos**. Assim, **C** e **D** são grupos-irmãos. Eles são mais aparentados entre si do que em relação ao grupo **B**. Quando se analisa a partir do nó que deu origem a **B + C + D**, pode-se dizer que eles são mais aparentados entre si do que em relação ao grupo **A**, e assim por diante. As condições derivadas dos caracteres, e que são exclusivas de cada agrupamento, podem estar apontadas nos ramos do cladograma.

Com base nessa interpretação da evolução, outras definições de espécies têm surgido, como a seguinte:

CONCEITO FILOGENÉTICO DE ESPÉCIE

Espécie é uma população ou grupo de populações definidas por uma ou mais condições derivadas.

Essa definição pode ser aplicada para organismos com reprodução assexuada ou para organismos com reprodução sexuada e pode ser empregada tanto para espécies recentes como para fósseis, pois ela não depende de se saber se há ou não reprodução e descendentes férteis.

No cladograma do exemplo anterior, cada um dos terminais poderia representar uma espécie. Entretanto, os terminais nem sempre são espécies. Eles podem representar gêneros, famílias ou outros níveis hierárquicos, como veremos ao longo do livro.

3.1. Construindo um cladograma

Vamos construir um cladograma hipotético em que se pretende analisar as relações filogenéticas entre quatro grupos de organismos: **A**, **B**, **C** e **D**.

Devemos analisar de forma comparativa caracteres presentes nesses grupos e como esses caracteres variam.

Simplificadamente, vamos considerar apenas um grupo externo, que identificaremos como **X**, e cinco caracteres em que a condição primitiva de cada um já tenha sido determinada. Identificaremos a condição primitiva com um retângulo sem cor e cada condição derivada com uma cor.

Observe a tabela ou matriz de dados em que essas informações foram colocadas:

Caráter	Grupo externo X	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
1					
2					
3					
4					
5					

Agora essa matriz deve ser transformada num cladograma, em que apenas a condição derivada é usada para definir os agrupamentos.

Cada passo no cladograma é determinado pela condição derivada e deve-se construir o cladograma com o menor número possível de passos.

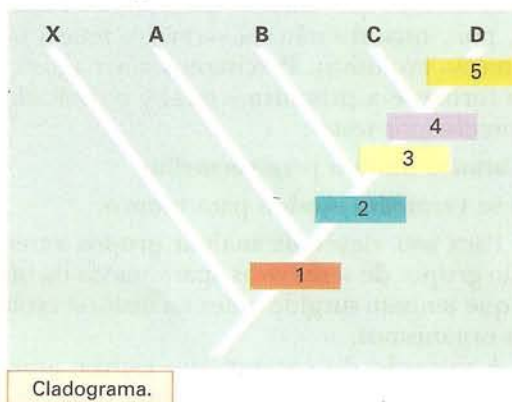
O caráter 1 aparece na condição derivada nos grupos **A**, **B**, **C**, **D**. Isso indica que esses grupos compartilham um mesmo ancestral comum exclusivo. Essa condição deve ser o primeiro passo do cladograma, separando o grupo **X** dos demais.

O caráter 2 aparece na condição derivada nos grupos **B**, **C**, **D**. Assim, ele deve ter surgido a seguir, definindo o próximo passo no cladograma.

Os caracteres 3 e 4 aparecem na condição derivada apenas em **C** e **D**, definindo o agrupamento **C + D**.

A condição derivada do caráter 5 aparece apenas no grupo **D**, que o separa, portanto, do grupo **C**.

Essa interpretação nos permite construir o seguinte cladograma:



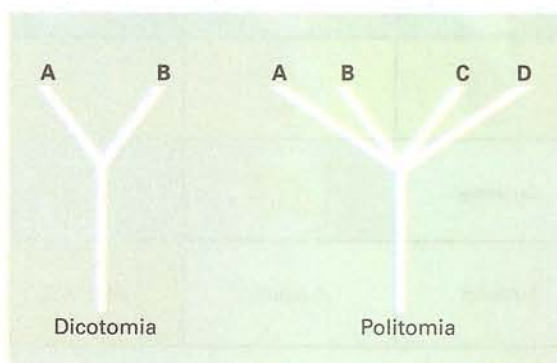
Empregando o conceito de grupo monofilético (aquele que compartilha um ancestral comum exclusivo), pode-se notar que todo grupo formado por $X + A + B + C + D$ é monofilético. Por sua vez, o outro agrupamento formado por $A + B + C + D$ também é monofilético, o mesmo acontecendo com $B + C + D$ e com $C + D$. Assim, existe uma hierarquia em que um grupo monofilético maior abriga outro grupo menor, que abriga outro grupo monofilético menor ainda.

As análises filogenéticas não são tão simples e geralmente envolvem grande número de caracteres.

4. Sistemática: uma área em constante modificação

Apesar dos avanços da Biologia na obtenção de dados sobre os seres vivos, especialmente dados moleculares, ainda existem dúvidas na compreensão das relações filogenéticas entre vários grupos de seres vivos. Com isso, novas propostas de classificação têm surgido, sendo a Sistemática hoje uma das áreas da Biologia que mais cresce e sofre mudanças.

Quando as relações filogenéticas de grupos de seres vivos estão bem resolvidas, são apresentadas em cladogramas formados apenas por **dicotomias** (*dico* = dois; *tómos* = divisão). Quando vários ramos partem de um único ponto do cladograma, isso significa que as relações filogenéticas entre esses grupos não estão completamente resolvidas, formando **politomias** (*poli* = muitos).



Cladogramas.

Mesmo quando as dicotomias já são estabelecidas, o estudo mais detalhado dos seres vivos pode trazer à tona caracteres antes não considerados e que podem provocar mudanças nessas dicotomias.

Assim, a classificação dos seres vivos tem estado em constante revisão e ainda há muito que descobrir sobre as relações evolutivas entre os seres vivos.

Em função disso, tem sido muito freqüente haver divergências em diferentes livros no que se refere à classificação dos seres vivos.

A classificação dos reinos que optamos por adotar neste livro já foi comentada no capítulo 2. Nessa classificação não estão incluídos os vírus.

Vamos, nesta unidade, conhecer um pouco mais sobre a diversidade de seres vivos, e para cada grupo serão feitos, quando necessário, comentários sobre a classificação adotada, pois para muitos casos existem opiniões diversificadas entre os pesquisadores.

No próximo capítulo estudaremos os vírus, para depois entrarmos no estudo dos seres que possuem estrutura celular e para os quais os conceitos da sistemática filogenética se aplicam: monera, protistas, fungos, plantas e animais.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Considerando a enorme diversidade de seres vivos, explique como os cientistas, desde a Antiguidade até os dias de hoje, entenderam e entendem como essa diversidade se estabeleceu.

2. Diferencie um sistema artificial de classificação de um sistema natural de classificação, com base nos princípios em que se baseiam.

3. Uma das propostas de classificação dos seres vivos mais aceitas até o início do século XVIII era a do filósofo grego **Aristóteles** (384-322 a.C.), segundo a qual os organismos

eram classificados com base em critérios muito gerais. Ele agrupava, por exemplo, os animais em voadores e não-voadores, colocando em um mesmo grupo insetos e aves, com base na forma de locomoção. Esse sistema pode ser considerado natural ou artificial? Explique.

4. Construa um esquema usando figuras geométricas, de maneira a representar as relações entre as categorias taxonômicas desde a mais geral, que é o reino, até a unidade de classificação, que é a espécie. Considere as categorias obrigatórias estabelecidas nos códigos internacionais de nomenclaturas zoológica e botânica.

5. Os organismos **A** e **B** são classificados na mesma espécie; os organismos **X** e **Y** também são classificados na mesma espécie, mas diferentes da espécie de **A** e **B**. Entretanto, **A**, **B**, **X** e **Y** pertencem ao mesmo gênero. Qual par de organismos possui mais caracteres em comum? Podemos dizer que **A**, **B**, **X** e **Y** pertencem à mesma família, ordem, classe, filo e reino? Por quê?

6. Comente a seguinte frase: o nome científico do cão doméstico é *Canis familiaris*, o que significa que o nome do gênero é *Canis* e o da espécie é *familiaris*.

7. Explique o que significa Sistemática e diga a importância de realizar a classificação dos seres vivos.

13. Analise a seguinte matriz de dados sobre características de cinco gêneros de dinossauros e construa um cladograma que melhor reflita as relações de parentesco evolutivo entre esses gêneros. As condições derivadas estão destacadas em fundo colorido.

	 <i>Allosaurus</i>	 <i>Stegosaurus</i>	 <i>Parasaurolophus</i>	 <i>Pachycephalosaurus</i>	 <i>Triceratops</i>
Orifício no encaixe do osso no quadril					
Processo posterior do púbis	Ausente				
Esmalte em camadas desiguais nos dentes	Ausente	Ausente			
Expansão na base do crânio	Ausente	Ausente	Ausente		
Três chifres na cabeça	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente

(Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Um pouco da história da classificação dos seres vivos

Desde os tempos de Aristóteles e posteriormente de Lineu até meados do século XX, costumava-se classificar os seres vivos em dois reinos: o Reino Plantae (Reino Vegetal ou reino das plantas) e o Reino Animalia (Reino Animal).

No reino das plantas estavam incluídos todos os organismos autótrofos fotossintetizantes, fossem

8. Conceitue anagênese e cladogênese e diga qual a relação desses processos com a classificação dos seres vivos.

9. Esquematize um cladograma hipotético e explique o que é ramo, nó, terminal e raiz. Explique o que cada um deles significa para a classificação dos seres vivos e em que se baseia a construção de um cladograma.

10. Explique o que significa dizer que um grupo é monofilético. Aponte grupos monofiléticos no cladograma que você montou.

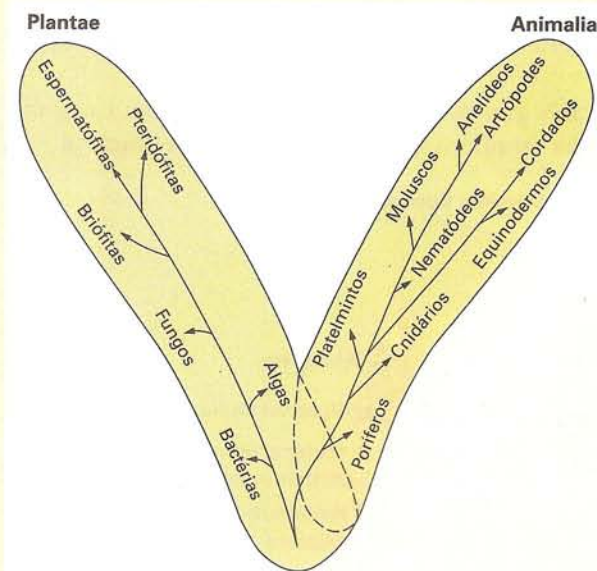
11. Discuta os dois conceitos de espécie mencionados neste capítulo.

12. Conceitue população.

eles procariontes ou eucariontes, e também as bactérias não-fotossintetizantes e os fungos, considerados plantas aclorofiladas.

No reino dos animais estavam incluídos os organismos heterótrofos, que em geral se deslocam no meio, capturam e ingerem alimento. Esse grupo incluía os **protozoários**, que eram chamados animais

unicelulares, e os **metazoários**, ou animais multicelulares.



Esquema da proposta de classificação dos seres vivos em dois reinos.

Com os avanços da Biologia, surgiram novas propostas de classificação.

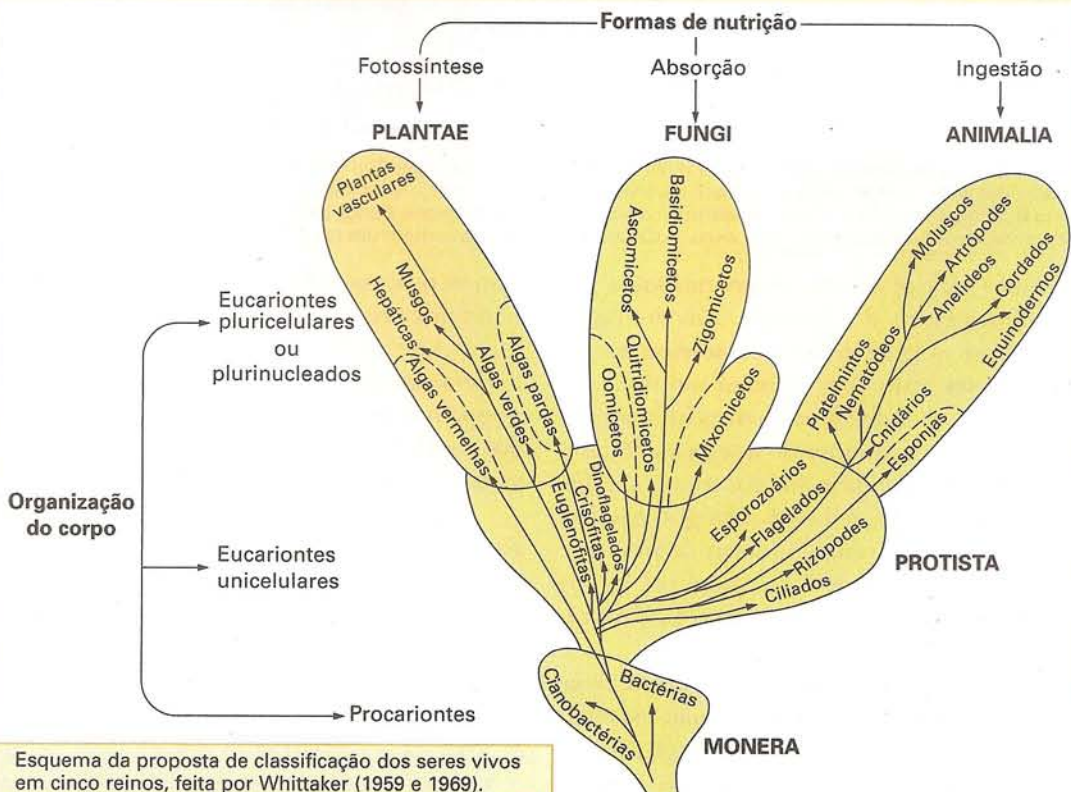
Em 1938 e depois em 1956, **Herbert Copeland** (1902-1968) propôs um sistema de classificação dos

seres vivos em quatro reinos:

- **Monera** — procariontes, como é o caso das bactérias;
- **Protoctista** — incluindo os unicelulares eucariontes heterótrofos, representados pelos protozoários, os autótrofos, representados pelas algas unicelulares, e os multicelulares sem tecidos verdadeiros, como as algas multicelulares e os fungos;
- **Metaphyta** — plantas;
- **Metazoa** — animais.

Em 1959 e depois em 1969, numa versão mais completa e comentada, **Robert H. Whittaker** (1924-1980) apresentou uma nova proposta de classificação dos seres vivos em cinco reinos, modificando o sistema de Copeland. Segundo Whittaker, os reinos de seres vivos são:

- **Monera** — procariontes, representados pelas bactérias e cianobactérias;
- **Protista** — unicelulares eucariontes, incluindo nesse grupo os protozoários, que são heterótrofos, e as algas unicelulares, que são autótrofas;
- **Fungi** — fungos, unicelulares ou multicelulares heterótrofos, que se alimentam por absorção de nutrientes do meio;
- **Plantae** — multicelulares autótrofos que realizam fotossíntese, incluindo nesse grupo as algas multicelulares e as plantas terrestres;
- **Animalia** — multicelulares heterótrofos que se alimentam por ingestão, incluindo todos os animais.

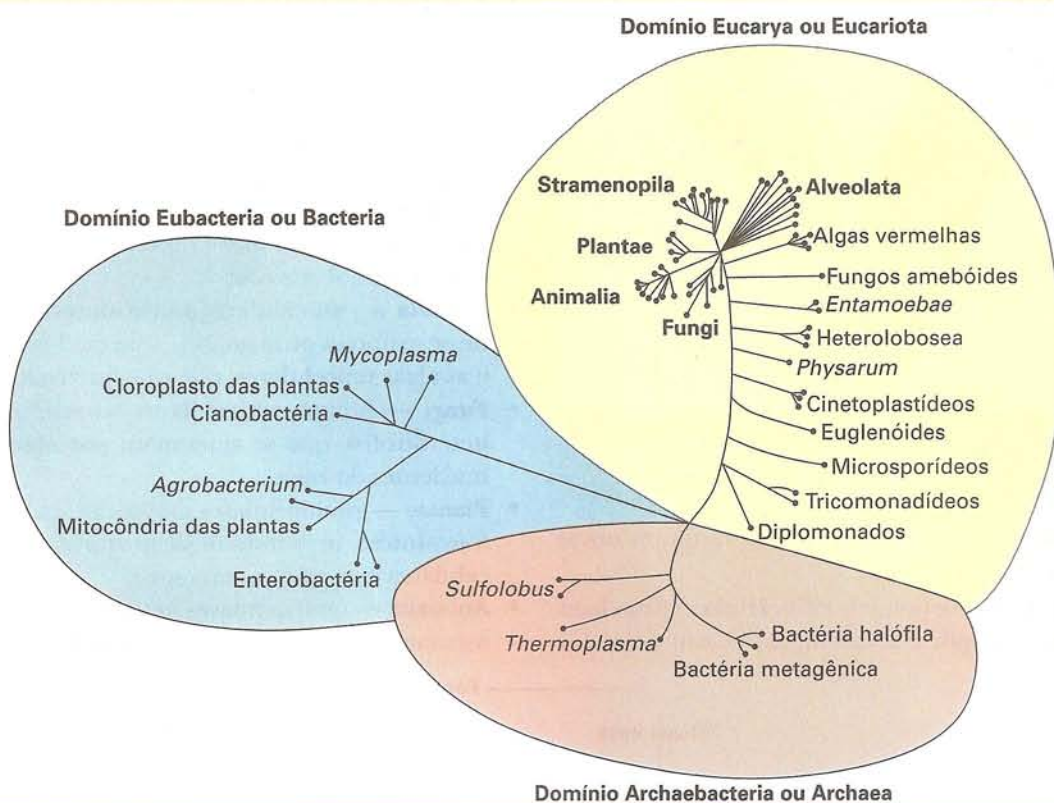


Esquema da proposta de classificação dos seres vivos em cinco reinos, feita por Whittaker (1959 e 1969).

Em 1982, Lynn Margulis e Karlene Schwartz publicaram um livro no qual modificam o sistema de cinco reinos de Whittaker basicamente considerando, além dos unicelulares eucariontes, as algas multicelulares e os fungos portadores de flagelos como pertencentes ao Reino Protista.

Em 1990, o microbiologista **Carl R. Woese** propôs uma nova classificação dos seres vivos com base na análise do RNAr, um tipo de RNA presente em todos os seres vivos e, portanto, bastante útil como base de comparação.

Nessa proposta, os seres vivos são classificados em três grandes grupos ou **domínios**, uma categoria taxonômica criada por Woese e que é superior a reino. Esses domínios são **Archaea**, **Bacteria** e **Eucarya**.



Esquema da proposta de classificação dos seres vivos em três domínios, feita por Carl Woese, com base no RNAr. O comprimento das linhas corresponde ao número de diferenças: quanto maior a linha, maior o número de diferenças. Nesse sistema, no Domínio Eucariota ou Eucarya existiriam cinco reinos bem definidos (Fungi, Animalia, Plantae, Stramenopiles e Alveolates) e vários outros grupos de seres vivos, cada um deles podendo compor um reino distinto.

Segundo essa proposta, os **procariontes** são muito **diferentes** entre si e formam dois domínios distintos. Por outro lado, todos os **eucariontes** são muito **semelhantes** entre si e formam um domínio único. Além disso, os Archaea estão mais intimamente relacionados aos eucariontes do que às bactérias e provavelmente deram origem aos eucariontes. Estes estão representados pelos reinos dos fungos, plantas, animais e vários outros reinos independentes, que são tratados no sistema de Whittaker no Reino Protista, e no de Margulis e Schwartz no Reino Protoctista.

Assim, na proposta de Woese e em outras mais recentes, os Reinos Monera e Protista não existem, pois não são monofiléticos. Já os Reinos Fungi, Plantae e Animalia são monofiléticos. Nesses casos, empre-

gam-se os termos Monera e Protista como coletivos, sem valor taxonômico.

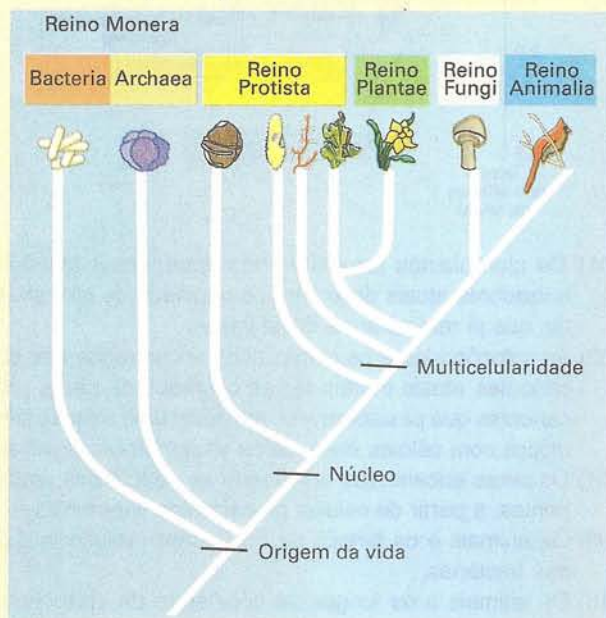
A definição do Reino Fungi também difere entre os cientistas: alguns consideram nesse reino formas que possuem flagelos em seus ciclos de vida (chamados fungos flagelados), enquanto outros consideram esses organismos num reino distinto ou no Reino Protista.

Levando em conta o atual *status* da classificação dos seres vivos, em que ainda há pouco consenso sobre as definições dos reinos, vamos adotar por simplificação a classificação em cinco reinos, assim definidos:

- **Monera** — todos os procariontes, divididos em dois sub-reinos: Archaeobactéria e Eubactéria;
- **Protista** — eucariontes unicelulares heterótrofos (protozoários) ou unicelulares e multicelulares que

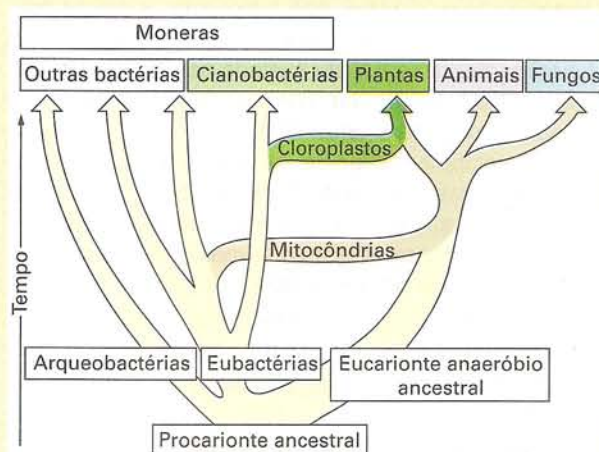
não formam tecidos verdadeiros e que são autótrofos (algas);

- **Fungi** — uni ou multicelulares eucariontes heterótrofos que se alimentam por absorção de nutrientes do meio; vamos considerar como fungos alguns grupos flagelados;
- **Plantae** — multicelulares autótrofos, com tecidos verdadeiros;
- **Animalia** — multicelulares heterótrofos que se alimentam por ingestão.



As plantas evoluíram muito provavelmente a partir de algas verdes unicelulares. Fungos e animais surgiram de diferentes grupos de protistas heterótrofos. Evidências moleculares indicam que os fungos são mais aparentados com os animais do que com as plantas.

A figura abaixo mostra de modo simplificado a relação evolutiva entre os seres vivos.



Esquema da proposta sobre a origem e a evolução das células e dos grupos de seres vivos. Neste esquema não estão incluídos os protistas, grupo cuja classificação é bastante problemática, como será discutido no capítulo 15.

Cladograma simplificado dos reinos de seres vivos adotados neste livro. (Elementos representados fora de proporção.)

- Se você fosse um professor de Biologia e um aluno lhe perguntasse o que é um protista, alegando que em cada livro que ele estudava os conceitos estavam diferentes, o que você responderia?



TESTES

1. (PUC-RJ) O lobo-guará e a onça são dois exemplares da nossa fauna ameaçados de extinção. O diagrama a seguir mostra as principais categorias taxonômicas a que pertencem estes animais:

Lobo-guará: Cordado > mamífero > carnívoro > canídeo > *Chrysocyon* > *C. brachyurus*

Onça parda: Cordado > mamífero > carnívoro > felídeo > *Felis* > *F. concolor*

A análise do diagrama permite dizer que os dois animais estão próximos na mesma categoria até:

- a) classe. b) filo. c) família. d) gênero. e) ordem.

2. (UFPA) O açaí e a bacaba são palmeiras que produzem frutos muito apreciados pelas populações do estado do Pará. Os grupos taxonômicos dessas duas plantas são mostrados na classificação abaixo:

Angiospermae > Monocotyledonae > Principes > Arecaceae

Euterpe oleracea (Açaí)

Oenocarpus distichus (Bacaba)

As plantas citadas pertencem à mesma categoria taxonômica até:

- a) classe. b) filo. c) família. d) gênero. e) ordem.

3. (UnB-DF — mod.) Mais de 4 mil taturanas estão sendo depiladas com pinça e tesoura no Instituto Butantã. O trabalho destina-se a fornecer matéria-prima para a produção do soro que age como antídoto contra o veneno da taturana assassina. *Lonomia obliqua* é o nome científico do inseto. Embora ela cause poucos acidentes no Estado de São Paulo, no Rio Grande do Sul chega a provocar 400 acidentes anuais. Prepara-se um macerado dos pêlos em meio líquido. Esse veneno é então injetado em cavalos em doses muito pequenas, mas sucessivas e crescentes. O próximo passo é retirar o sangue do animal, a partir do qual é preparado o soro a ser injetado nas vítimas.

A maioria das lagartas que chegam de São Paulo vem parasitada. O parasita é uma minúscula vespa que coloca os ovos na taturana; as larvas da vespa alimentam-se da taturana, que acaba morrendo antes de se transformar em mariposa. Como a maioria das taturanas vindas do Sul não está parasitada, pensa-se que as vespas estariam indiretamente protegendo a população de São Paulo.

(O Estado de S. Paulo, 19 fev. 1998 — com adaptações.)

Com o auxílio dessa notícia, julgue os itens abaixo:

- (1) O texto incorre em erro ao classificar a taturana como inseto.
- (2) A taturana pertence à espécie *Lonomia*.
- (4) As "vespas estariam indiretamente protegendo a população" por diminuírem o número de taturanas em São Paulo.
- (5) Infere-se do texto que o Butantã quer produzir uma vacina contra a taturana.

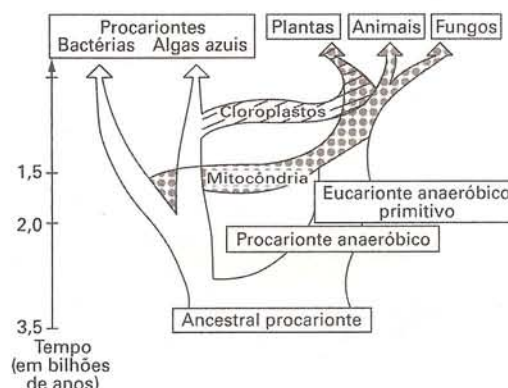
4. (UFMA) A Comissão Internacional de Nomenclatura Zoológica estabelece regras que são seguidas pelos cientistas de todo o mundo. Identifique abaixo o nome científico escrito corretamente:

- a) *charadrius Collaris* — Maçarico-de-coleira
- b) *Eudocimus Ruber* — Guará
- c) *Arenaria interpres* — Maçarico vira-pedras

d) *falco Peregrinus* — Gavião-peregrino

e) *Himantopus Himantopus* — Maçarico-pernilongo

5. (UEM-PR) De acordo com a figura abaixo e com os conceitos sobre relações evolutivas entre os seres vivos, indique o que for correto:



- 01) Os cloroplastos presentes nos eucariontes fotossintetizadores atuais devem ter se originado de procariontes que já realizavam a fotossíntese.
- 02) As mitocôndrias e os cloroplastos encontrados nos eucariontes atuais podem ter se originado de seres procariontes que passaram a desenvolver uma relação simbiótica com células eucariontes anaeróbicas primitivas.
- 04) Os seres eucariontes originaram-se depois dos procariontes, a partir de células procariontes anaeróbicas.
- 08) Os animais e os fungos se originaram exclusivamente das bactérias.
- 16) Os animais e os fungos se originaram de seres heterótrofos.
- 32) As algas azuis e as plantas atuais se originaram de seres autótrofos fotossintetizantes.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP — mod.) De acordo com o sistema binomial de nomenclatura estabelecido por Linnaeus, o nome científico *Felis catus* aplica-se a todos os gatos domésticos, como angorás, siameses, persas, abissínios e malhados. O gato selvagem (*Felis silvestris*), o lince (*Felis lynx*) e o puma ou suçuarana (*Felis concolor*) são espécies relacionadas ao gato.

- a) A que gênero pertencem todos os animais mencionados?
- b) Por que todos os gatos domésticos são designados por um mesmo nome científico?

2. (UFF-RJ — mod.) Identifique a categoria taxonômica a que se refere cada um dos nomes citados, de acordo com as regras de nomenclatura zoológica, e justifique sua resposta.

- a) *Rattus*
- b) *Ascaris lumbricoides*
- c) *Homo sapiens*

3. (Unicamp-SP) *Leptodactylus labyrinthicus* é um nome aparentemente complicado para um anfíbio que ocorre em brejos do Estado de São Paulo. Justifique o uso do nome científico em vez de, simplesmente, "rã pimenta", como dizem os pescadores.

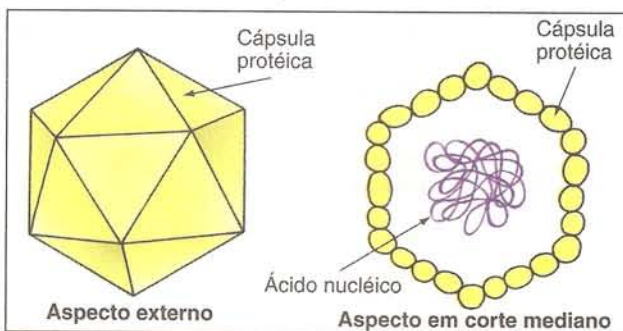


Vírus

1. Introdução

Os vírus são seres muito simples, formados basicamente por uma cápsula protéica envolvendo o material genético, que, dependendo do tipo de vírus, pode ser o DNA ou o RNA.

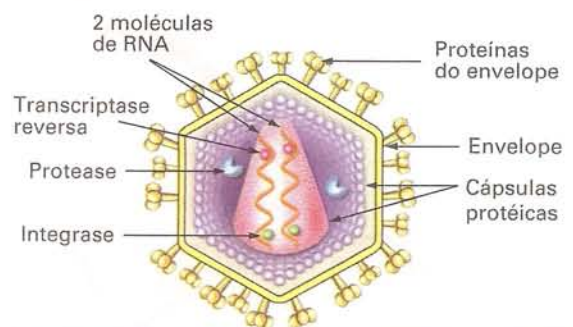
Os vírus são menores que as menores células conhecidas. Eles são visíveis apenas ao microscópio eletrônico. Assim, todas as micrografias e desenhos de vírus apresentados neste livro baseiam-se em observações ao microscópio eletrônico.



Esquemas de um vírus feitos com base em observações ao microscópio eletrônico (cores-fantasia). Mede cerca de 0,1 μm de diâmetro.

Alguns vírus são chamados **envelopados** porque possuem um envelope lipoprotéico proveniente da membrana plasmática da célula hospedeira. Esse envelope envolve as várias cápsulas protéicas

que o vírus pode apresentar. Um exemplo de vírus envelopado é o **HIV** (vírus da imunodeficiência humana), que provoca a AIDS (síndrome da imunodeficiência adquirida). O HIV é um vírus de RNA e possui moléculas inativas de certas enzimas em seu interior.

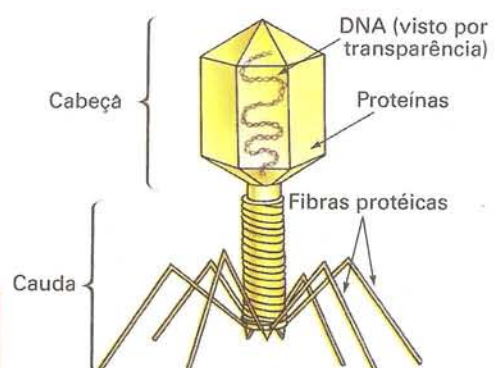


Esquema da organização do vírus HIV, visto em corte mediano, com base em observações ao microscópio eletrônico (cores-fantasia). Mede de 80 a 140 nm de diâmetro.

Geralmente, o grupo de células que um tipo de vírus infecta é bastante restrito, e a infecção viral começa com a adesão da proteína viral, presente no envoltório, à proteína receptora na membrana plasmática da célula hospedeira. São as moléculas de proteínas virais dos envoltórios que determinam qual tipo de célula o vírus irá infectar.

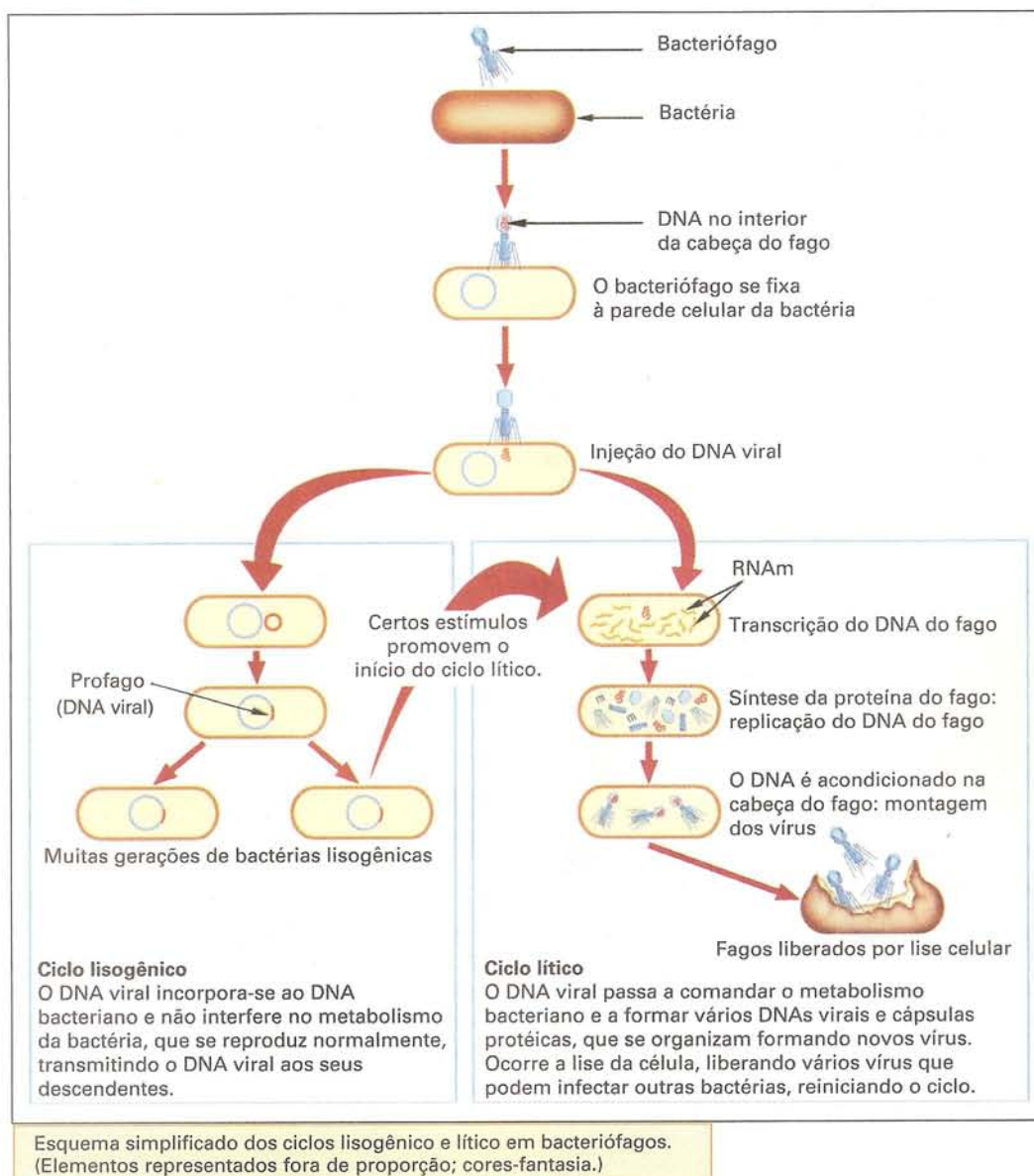
2. Bacteriófagos

Os bacteriófagos são vírus que infectam bactérias. Os mais estudados são os que infectam a bactéria intestinal *Escherichia coli*, conhecidos como fagos T.



Esquema de um fago, feito com base em observações ao microscópio eletrônico (cores-fantasia). Mede de 65 a 200 nm de comprimento.

Existem basicamente dois tipos de ciclos reprodutivos: o **ciclo lítico** e o **ciclo lisogênico**. Esses dois ciclos iniciam-se quando o vírus adere-se à superfície da célula hospedeira e introduz na célula o material genético viral. A partir desse momento, começa a diferenciação entre ciclo lítico e ciclo lisogênico, como explicado na figura a seguir, que mostra esquematicamente a reprodução de um bacteriófago T:



Sob determinadas condições, naturais ou artificiais (tais como radiações ultravioleta, raios X ou certos agentes químicos), uma bactéria lisogênica pode transformar-se em não-lisogênica e iniciar o ciclo lítico.

3. Vírus de plantas

A imensa maioria dos vírus de plantas tem como material genético o RNA e não possui envelope, mas existem vírus não-envelopados de DNA e vírus envelopados de RNA.

A **Virologia**, ciência que estuda os vírus, recebeu uma das mais importantes contribuições científicas de **Wendel Stanley** (1904-1971) com o trabalho sobre o **vírus do mosaico do tabaco (TMV)**. Esse vírus provoca uma doença caracterizada por mosaicos de manchas verde-claras ou amarelas, de diversos tamanhos, nas folhas ou na planta toda. Wendel Stanley descobriu que o TMV pode ser cristalizado e que esses

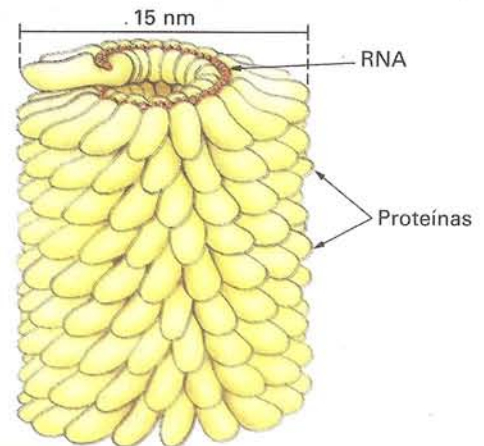
cristais inanimados, ao entrarem em contato com plantas saudáveis de tabaco, produzem infecções. Essa descoberta lhe valeu o prêmio Nobel de Química em 1946.

Posteriormente, com o uso de microscopia eletrônica, constatou-se que esse vírus é formado por proteínas dispostas de modo helicoidal ao redor de uma molécula de RNA.



Fotografia de um detalhe de folha de tabaco infectada pelo TMV (manchas).

Peter Johnson/Corbis



Esquema de um trecho do vírus do mosaico do tabaco, feito com base em observações ao microscópio eletrônico (cores-fantasia). O vírus todo mede 280 nm × 15 nm.

O efeito mais comum das infecções virais nas plantas é o declínio na taxa de crescimento: as plantas infectadas crescem menos que as saudáveis.

A transmissão dos vírus das plantas pode ser feita por um vetor (agente que inocula uma doença), como um inseto, um fungo ou um verme nematódeo; alguns vírus, no entanto, são transmitidos através do pólen, das sementes e mesmo de um mecanismo denominado **difusão mecânica**. Neste último caso, a transmissão ocorre quando uma pessoa manipula uma planta infectada e a seguir manipula outra saudável, ou quando os vírus permanecem cristalizados sobre equipamentos agrícolas, que os introduzem nas plantações ao serem empregados. O vírus do mosaico do tabaco, por exemplo, é transmitido por difusão mecânica; o vírus da batata é transmitido através da picada de insetos.

4. Vírus de animais

Esses vírus podem ser de DNA ou de RNA, envelopados ou não. A maior parte deles, ao infectar uma célula animal, penetra nela com a cápsula e o ácido nucleico, diferindo dos bacteriófagos, que só introduzem nas bactérias o ácido nucleico. Se o vírus for envelopado, o envelope incorpora-se à membrana plasmática da célula hospedeira. No interior dessa célula a cápsula protéica rompe-se, liberando o ácido nucleico.

As seguintes situações podem ocorrer, dependendo do tipo de ácido nucleico do vírus:

1ª) Quando o ácido nucleico é o DNA, o processo de transcrição e tradução é o tradicional. É o caso do adenovírus e dos vírus da varíola, do herpes e da hepatite.

DNA → RNA → Síntese protéica

a) o RNA é transcrito em várias outras moléculas de RNA, que passarão a comandar a síntese protéica. É o caso dos vírus da gripe, da raiva, da encefalite e da poliomielite.

RNA → RNA → Síntese protéica

b) o RNA é inicialmente transcrito em DNA por meio de uma enzima especial denominada **transcriptase reversa**, inativa no vírus mas que se torna ativa na célula hospedeira. Uma vez formadas as moléculas de DNA, elas incorporam-se ao DNA da célula e podem ser transcritas em moléculas de RNA, que passarão a comandar a síntese protéica. Esses são os **retrovírus**, como é o caso do vírus da AIDS.

RNA → DNA → RNA → Proteína

2ª) Quando o ácido nucleico é o RNA, duas situações podem ocorrer, dependendo do tipo de vírus:

Retrovírus

Vários tipos de retrovírus que causam diversos tipos de infecção e mesmo câncer em animais já foram identificados desde o início do século XX. Somente em 1980, porém, foi isolado o primeiro retrovírus na espécie humana: o HTLV-I, um retrovírus que infecta linfócitos T e causa um tipo de leucemia (câncer do sangue). Dois anos mais tarde, foi descoberto outro retrovírus, o HTLV-II, que causa outro tipo de leucemia.

O primeiro caso de AIDS foi diagnosticado em 1981, mas foi somente em 1983 que se conseguiu provar que essa síndrome é causada por um novo tipo de retrovírus, que recebeu a denominação **vírus da imunodeficiência humana**, ou **HIV** (sigla que deriva do inglês *human immunodeficiency virus*).

5. Os vírus e a saúde humana

Vamos abordar a seguir algumas das principais doenças provocadas por vírus, com ênfase no ciclo reprodutivo do vírus da AIDS.

5.1. AIDS

A AIDS é causada pelo vírus HIV, que é um retrovírus envelopado.

Essa síndrome caracteriza-se por um conjunto de infecções oportunistas que surgem devido à queda da imunidade. Essa queda é ocasionada principalmente pela redução no número de um tipo de linfócito do sangue, chamado **linfócito T auxiliador**, que é destruído pelo HIV. Como esse tipo de célula faz parte do sistema imunitário humano, estimulando outras células desse sistema de defesa a combater invasores de nosso corpo, a redução do número de linfócitos T faz com que o combate a infecções seja feito com menos eficiência. Assim, até mesmo infecções mais simples, que seriam facilmente combatidas no organismo de pessoas que têm sistema imunitário normal, passam a se manifestar.

O HIV usualmente não manifesta sintomas de sua presença logo que se instala no organismo. Pessoas infectadas por esse vírus podem ficar sem sintomas por até cerca de 10 anos, mas transmitem o vírus. Assim, a diagnose precoce da infecção permite que se esclareça ao portador do HIV que ele deve tomar certos cuidados para não transmitir o vírus para pessoas sadias, além de permitir ao paciente o início do tratamento antes mesmo do surgimento dos primeiros sintomas, aumentando sua chance de sobrevivência.

Quando o HIV se manifesta, surgem vários sintomas iniciais, tais como fadiga, febre, inchaço crônico dos gânglios linfáticos, surgimento de pequenos pontos vermelhos na pele e distúrbios do sistema nervoso central (desde fortes dores de cabeça até encefalite).

Em estágios mais avançados da síndrome, diversas doenças oportunistas podem acabar levando

o indivíduo à morte. Algumas das mais comuns são infecções pelo vírus *Herpes simples* (causa ulcerações na boca e/ou órgãos genitais), infecção pelo fungo *Candida albicans* (provoca a doença popularmente conhecida por sapinho), tuberculose, câncer dos gânglios linfáticos, pneumonia, encefalite, meningite, infecção do fígado e da medula óssea. É comum também ocorrerem grande perda de peso e perda gradual da precisão do raciocínio e da locomoção, e o surgimento de um tipo de câncer de pele denominado sarcoma de Kaposi.

A transmissão do vírus da AIDS pode ocorrer das seguintes maneiras:

- por contato sexual com pessoa portadora do HIV;
- por transfusão de sangue ou transplante de órgão contaminados pelo HIV;
- pelo uso de seringa ou outro material cirúrgico ou cortante não-esterilizado;
- de mãe para filho, no caso de mulheres grávidas contaminadas pelo HIV, que podem transmitir o vírus para o filho no momento do parto ou na amamentação;
- por inseminação artificial com sêmen contaminado pelo HIV.

A transmissão **não** ocorre pelo contato social com pessoas portadoras do HIV, por picadas de mosquitos ou durante atividades esportivas.

Os bancos de sangue, de espermatozoides e de órgãos têm programas rígidos de controle para impedir que doadores e receptores de sangue ou órgãos possam ser infectados.

A prevenção da contaminação pelo HIV é feita pelo uso de seringas descartáveis e de materiais cirúrgicos esterilizados e pela prática do chamado “sexo seguro”, que inclui, além de outras recomendações, a redução no número de parceiros e o uso de camisinha em todas as relações sexuais. Deve-se evitar também o contato direto com o sangue de outras pessoas, mesmo quando se trata de machucados na pele ou sangramento pelo nariz. O uso de luvas é indicado nesses casos.

Estrutura e ciclo de vida do vírus da AIDS

O vírus da AIDS possui duas moléculas de RNA, protegidas por várias cápsulas protéicas, formando o **nucleocapsídeo**. Este é envolto pelo envelope, composto por uma camada dupla de lipídios, na qual estão imersas várias moléculas protéicas.

No interior do vírus existem moléculas inativas das enzimas **transcriptase reversa**, de uma **integrase** (que promove a integração do DNA viral ao DNA do cromossomo humano) e de uma **protease** (que atua principalmente na fase de organização final das proteínas virais).

O primeiro estágio de qualquer infecção viral é a união do vírus com proteínas específicas presentes na membrana plasmática da célula que será invadida. Sabe-se que os diferentes tipos de vírus têm afinidades com células específicas. No caso do HIV, as moléculas protéicas de seu envelope têm grande afinidade com uma proteína denominada **CD4**, presente na membrana plasmática de alguns tipos de célula do corpo humano. As principais são os **linfócitos T auxiliares**, que, em função da presença dessa proteína na membrana plasmática, também são chamados de **linfócitos CD4**.

Caracteristicamente, um indivíduo com AIDS

tem redução no número de linfócitos CD4, ficando suscetível a infecções.

A infecção pelo HIV começa, então, quando proteínas do envelope desse vírus se unem às proteínas receptoras CD4 das células humanas.

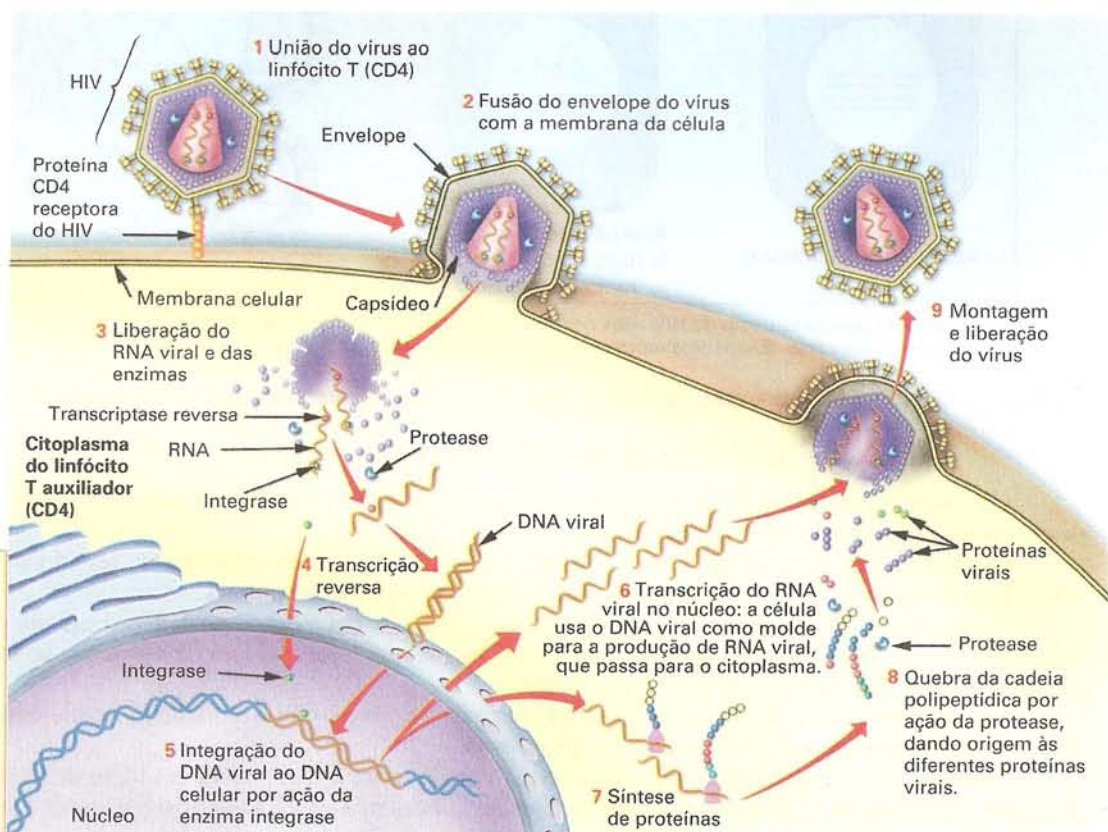
A seguir, o envelope incorpora-se à membrana da célula e o nucleocapsídeo penetra no citoplasma.

O capsídeo é degradado e as moléculas de RNA e de enzimas virais são liberadas. A transcriptase reversa converte o RNA viral em moléculas de DNA viral, denominadas **provírus**.

O DNA viral migra para o núcleo e é incorporado ao DNA da célula hospedeira, por ação da enzima viral integrase. Uma vez incorporado, o DNA viral sofrerá duplicação juntamente com o DNA da célula hospedeira todas as vezes que a célula se dividir. Desse modo, uma vez que o vírus esteja instalado, a infecção é permanente.

O DNA viral incorporado ao DNA celular pode permanecer por algum tempo em estado latente, sem dar sinal de sua existência.

Entretanto, ele pode sair desse estado de latência e passar a comandar os mecanismos celulares a fim de copiar seus genes em RNA. Algumas das moléculas de RNA assim produzidas comporão o material genético de novos vírus, enquanto outras atuarão como RNAm, conduzindo a maquinaria celular no sentido de produzir as proteínas virais.



Esquema de ciclo reprodutivo do vírus HIV. Vírus e célula vistos em corte. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

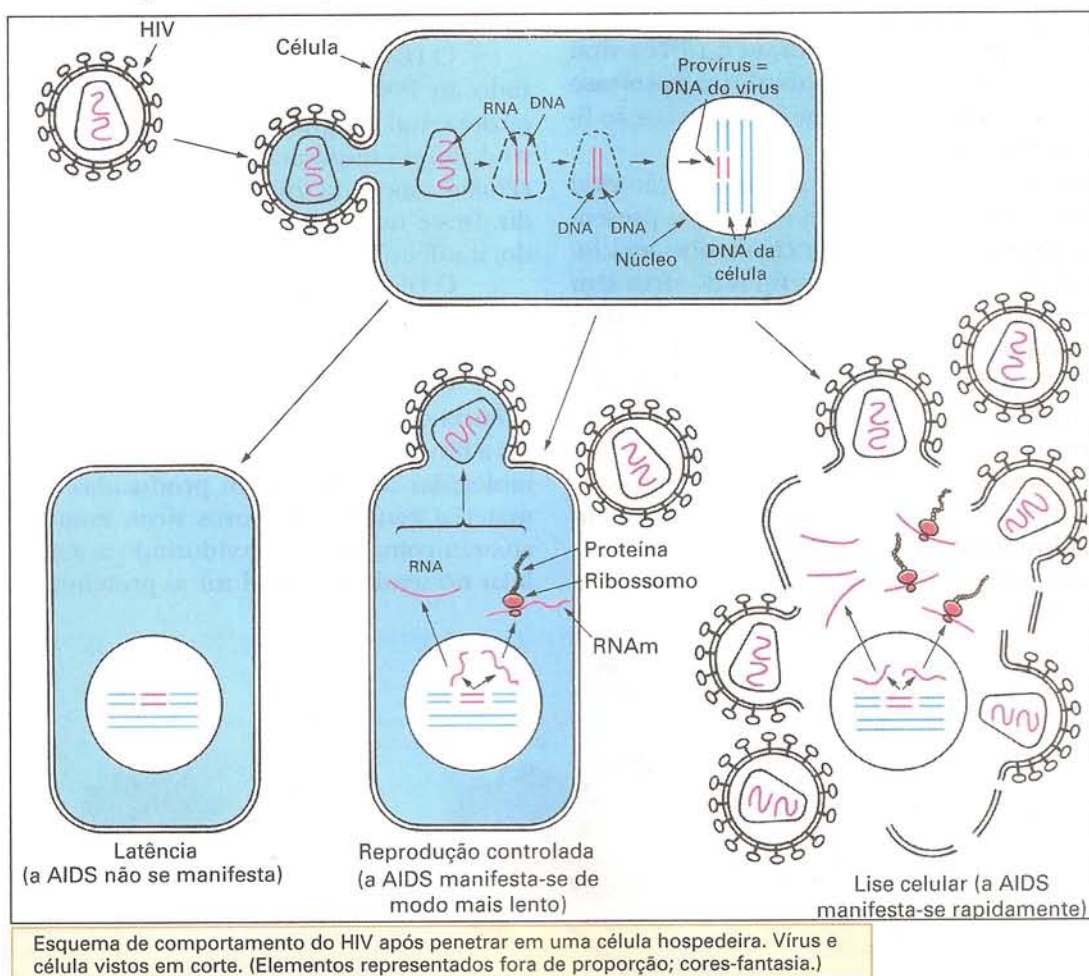
Depois de produzidas, essas proteínas são quebradas em moléculas de proteínas menores, por ação das proteases virais. Formam-se assim as proteínas do envelope, as proteínas do capsídeo e as enzimas virais.

As proteínas do envelope migram para a membrana plasmática da célula hospedeira, associando-se às moléculas de lipídio. Para esses locais migram também as proteínas do capsídeo, as enzimas e o RNA.

O vírus se organiza e se desprende da célula,

levando parte da bicamada lipídica da célula-hospedeira.

Em alguns casos, a produção de novos vírus em cada célula ocorre lentamente, sendo produzidos poucos vírus por vez. São casos em que a célula não é destruída, falando-se em **reprodução controlada** do vírus. Em outros casos, no entanto, a produção de novos vírus é muito rápida, formando-se muitos de uma só vez. São casos em que a célula sofre ruptura, sendo destruída e liberando muitos vírus: fala-se em **lise celular**.



Vacina anti-HIV e tratamento de pessoas infectadas

Conhecer o ciclo de vida de parasitas é fundamental para estabelecer medidas profiláticas e também desenvolver medicamentos que possam combater a parasitose.

No combate ao HIV, muito se tem investido no esclarecimento das pessoas no sentido de se adotarem medidas profiláticas e também no desenvolvimento de vacinas e medicamentos.

A vacina anti-HIV poderá vir a ser uma arma contra o avanço dessa epidemia. Hoje em dia já existem protótipos de vacinas em fase de testes clínicos. Infelizmente, um fator que tem ameaçado o sucesso da vacina é a grande taxa de mutação que o vírus apresenta.

Muitos são os medicamentos empregados atualmente contra o HIV e muitas são as diferentes drogas que atuam em diferentes etapas do ciclo de vida desse vírus.

Existem drogas que inibem a ação da transcriptase reversa, o que impede a síntese do DNA viral. Nesse grupo de medicamentos incluem-se AZT, 3TC, DDI e DDC. Infelizmente, a resistência a essas drogas é adquirida

rapidamente pelo vírus por meio de mutações na sequência do gene que codifica essa enzima. Assim, a vantagem terapêutica obtida com esse tratamento é rapidamente perdida após o aparecimento dos vírus resistentes, que aumentam em número em relação à população viral sensível.

Outro alvo de ataque das drogas anti-HIV é a enzima protease, fundamental no processo de maturação das proteínas virais. Quando, por ação dessas drogas, essa enzima perde a atividade, são formados vírus "defeituosos", que não conseguem infectar novas células. Essas drogas, chamadas inibidores de protease, têm causado grande revolução no tratamento da doença. Pacientes completamente desenganados puderam se recuperar e levar suas vidas normalmente. Infelizmente, existem relatos de mutações responsáveis pelo surgimento de vírus resistentes a essas drogas.

Na tentativa de impedir o aparecimento desses vírus resistentes, o tratamento clínico atual utiliza a associação de antivirais, que constituem o coquetel de drogas indicado no tratamento das pessoas infectadas.

Novos alvos moleculares estão sendo pesquisados a fim de bloquear o ciclo viral. Um desses alvos é a enzima integrase, responsável pela integração do DNA viral no DNA da célula hospedeira. Outros alvos são os receptores celulares responsáveis pela entrada do vírus na célula.

O combate ao HIV tem sido feito de forma intensiva, pois ele tem causado a morte de milhões de pessoas no mundo.

5.2. Outras doenças humanas causadas por vírus

Catapora ou varicela

- **Modo de transmissão:** saliva ou contato com objetos contaminados pelas lesões da pele.
- **Características da infecção:** pequenas e numerosas feridas no corpo, que geralmente não deixam cicatrizes.
- **Medidas profiláticas:** vacinação, tratar os doentes e evitar contato direto com eles.

Caxumba

- **Modo de transmissão:** saliva; uso comum de copos, garfos ou outros objetos contaminados sem a devida higienização.
- **Características da infecção:** inflamação das glândulas salivares, principalmente as parótidas. Pode, no entanto, infectar testículos, ovários, pâncreas e cérebro.
- **Medidas profiláticas:** vacinação, tratar os doentes e evitar contato com objetos contaminados com a saliva dos doentes.

Dengue

- **Modo de transmissão:** picada do mosquito *Aedes aegypti*, lembrando que somente as fêmeas são hematófagas (alimentam-se de sangue), portanto somente elas transmitem o vírus. Esses animais são os vetores da doença.
- **Características da infecção:** no dengue clássico (cerca de 95% dos casos) geralmente o doente apresenta febre alta, dor de cabeça, dores nas juntas, fraqueza, falta de apetite, manchas vermelhas na pele e pequenos sangramentos. Raramente é fatal. No dengue hemorrágico os sintomas iniciais são semelhantes aos do dengue clássico, porém depois que a febre começa a ceder a pessoa passa a apresentar queda acentuada de pressão arterial devido a hemorragias, que podem causar a morte.
- **Medidas profiláticas:** não deixar caixas-d'água ou reservatórios sem tampa; não deixar água parada em vasos, pneus, latas ou qualquer outro recipiente, pois as fêmeas desse mosquito colocam seus ovos na água, onde as larvas se desenvolvem; usar larvicidas e inseticidas para combater as larvas e os adultos desses insetos. Tratar os doentes.

Febre amarela

- **Modo de transmissão urbana:** picada das fêmeas do mosquito *Aedes aegypti*.
- **Modo de transmissão silvestre:** picada de fêmeas de várias espécies de mosquitos do gênero *Haemagogus*.
- **Características da infecção:** pode ser desde inaparente até fulminante; o vírus afeta principalmente o fígado, o que dá aspecto amarelado à pele do doente. Afeta também baço, rins, medula óssea e linfonodos (gânglios linfáticos), podendo levar o indivíduo à morte.
- **Medidas profiláticas:** vacinação; erradicação dos insetos vetores; tratamento do doente.

Gripe

- **Modo de transmissão:** gotículas de saliva espalhadas pelo ar por pessoas contaminadas.
- **Características da infecção:** coriza, tosse; raramente afeta os pulmões; dores musculares e fraqueza.
- **Medidas profiláticas:** vacinação; tratar os doentes e evitar contato direto com eles.

Hepatite (tipos mais comuns: A, B e C)

- **Modo de transmissão da hepatite A:** ingestão de água ou de alimentos contaminados pelo vírus (moscas e baratas podem ter as partes externas de seu corpo contaminadas com fezes de pessoas que tenham hepatite e transportar esses vírus para alimentos com os quais entrem em contato). Fezes de pessoas com hepatite podem contaminar a água de rios e mares.
- **Modo de transmissão das hepatites B e C:** relações sexuais sem preservativo; tatuagens feitas com instrumentos não-esterilizados; transfusões de sangue contaminado; uso de seringas contaminadas.
- **Características da infecção:** o vírus afeta o fígado.
- **Medidas profiláticas contra a hepatite A:** saneamento básico; tratamento da água; lavar as mãos antes das refeições; fiscalização das pessoas que manipulam alimento; desinfetar bem os sanitários. Tratar os doentes.
- **Medidas profiláticas contra as hepatites B e C:** usar camisinha nas relações sexuais; vacinação (contra a hepatite B); usar seringas descartáveis; atentar para a qualidade do sangue usado em transfusões. Tratar os doentes.

Herpes simples

- **Modo de transmissão:** contato direto ou indireto com objetos usados por herpéticos quando as feridas estão na fase de manifestação da doença.
- **Características do herpes tipo I:** pequenas bolhas que se tornam feridas, na pele ou na boca.
- **Características do herpes tipo II (herpes genital):** feridas na região genital e anal (doença sexualmente transmissível).
- **Medidas profiláticas:** evitar contato direto ou indireto com as feridas que surgem nas manifestações herpéticas. Tratar os doentes.

Poliomielite

- **Modo de transmissão:** provavelmente gotículas de saliva de pessoas contaminadas ou ingestão de água ou alimentos contaminados por fezes de doentes.
- **Características da infecção:** afeta o sistema nervoso e a musculatura. A doença pode ser inaparente ou grave, com casos de paralisia severa, que pode levar até mesmo à morte. A forma mais conhecida é a paralisia infantil.
- **Medidas profiláticas:** vacinação com a Salk, feita com o vírus inativo, e a Sabin, feita com o vírus atenuado. A Sabin é a vacina mais comum, conhecida como “a gotinha que salva”. Tratar os doentes.

Raiva

- **Modo de transmissão:** mordedura de animal infectado, principalmente cachorro.
- **Características da infecção:** alterações respiratórias, aumento da frequência cardíaca (taquicardia); afeta o sistema nervoso central causando sérios danos, podendo levar à morte. Quando ocorrer a mordida, deve-se lavar o ferimento com água limpa e sabão e procurar rapidamente serviço médico. Existem vacinas e soros anti-rábicos, de grande eficácia, aplicados a critério médico.
- **Medidas profiláticas:** vacinação de cães.

Resfriado

- **Modo de transmissão:** gotículas de saliva espalhadas pelo ar por pessoas contaminadas.
- **Características da infecção:** o vírus afeta o trato respiratório, e seus efeitos são menos intensos que os do vírus da gripe.
- **Medidas profiláticas:** tratar os doentes e evitar contato direto com eles.

Rubéola

- **Modo de transmissão:** contato direto com pessoas contaminadas ou contato com gotículas de saliva disseminadas no ar por essas pessoas.
- **Características da infecção:** febre baixa, aumento dos linfonodos do pescoço e pequenas manchas vermelhas no corpo. Geralmente não é grave, mas quando se manifesta em gestantes, especialmente nos primeiros meses de gravidez, pode acarretar a morte do feto ou complicações como surdez e catarata no bebê.
- **Medidas profiláticas:** vacinação; mulheres que não tomaram a vacina nem tiveram rubéola precisam ser vacinadas pelo menos 6 meses antes de engravidar; evitar contato com doentes. Tratar os doentes.

Sarampo

- **Modo de transmissão:** gotículas de saliva eliminadas por pessoas contaminadas pelo vírus. Este penetra pela mucosa das vias respiratórias, disseminando-se pelo corpo via corrente sanguínea.
- **Características da infecção:** febre e manchas vermelhas na pele, tosse, coriza e manchas brancas na face interna das bochechas. Geralmente não é grave, mas pode evoluir para complicações graves e até mesmo fatais, especialmente em crianças desnutridas.
- **Medidas profiláticas:** vacinação; tratar os doentes e evitar contato direto com pessoas contaminadas pelo vírus.

Variola

- **Modo de transmissão:** gotículas de saliva e uso de objetos (talheres, copos etc.) contaminados pelo vírus, além de contato com secreções e crostas das lesões. O vírus penetra pela mucosa das vias respiratórias e dissemina-se no corpo pela corrente sanguínea, instalando-se preferencialmente na pele.
- **Características da infecção:** feridas grandes e numerosas na pele, que deixam cicatrizes. Hoje é considerada erradicada, mas causou numerosas mortes e deixou seqüelas em muitas pessoas em todo o mundo na década de 1950. No Brasil, os últimos casos registrados ocorreram em 1971.
- **Medidas profiláticas:** vacinação; tratar os doentes.

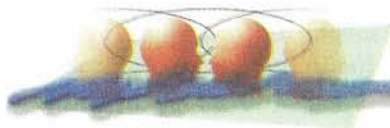


QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Comente aspectos nos quais os vírus diferem dos demais seres vivos.
2. Diga como os vírus podem ser classificados com base nos ácidos nucleicos.
3. Diferencie vírus capsulado de vírus não-capsulado e dê exemplos de cada um deles.
4. Esquematize um bacteriófago e descreva por meio de desenhos com legendas explicativas os ciclos lítico e lisogênico.
5. Explique o que ocorre quando células animais são infectadas por:
 - a) vírus de RNA;
 - b) vírus de DNA.
6. Explique o que determina a especificidade de um vírus, ou seja, por que um mesmo tipo de vírus infecta um determinado tipo de célula.

7. Cite os principais efeitos das infecções virais nas plantas.
8. Esquematize o ciclo reprodutivo do vírus da AIDS e mostre nele como podem atuar alguns dos medicamentos que procuram controlar o aparecimento dos sintomas.

9. Mencione as principais medidas preventivas para se evitar a AIDS.
10. Cite três doenças humanas causadas por vírus e as principais medidas profiláticas relacionadas a elas.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Vacinação

Você pode contribuir para que algumas doenças transmitidas ao ser humano por meio de vírus ou de bactérias possam ser evitadas. O esclarecimento sobre as formas de prevenção dessas doenças é fundamental. Uma delas é a vacinação.

As vacinas têm por objetivo desencadear em nosso organismo um mecanismo de imunização ativa. São introduzidas no nosso corpo formas atenuadas das toxinas ou dos próprios microrganismos causadores das doenças, e eles atuam como antígenos: elementos estranhos ao nosso corpo. Os antígenos estimulam o nosso sistema imunológico a produzir proteínas especiais denominadas anticorpos. Cada antígeno desencadeia a produção de um anticorpo, de modo que a reação antígeno-anticorpo é muito específica.

Na vacinação, inocula-se em um indivíduo sadio, pela primeira vez, uma pequena quantidade de um antígeno atenuado, e o corpo do indivíduo reage como se estivesse recebendo o agente ativo da doença. Assim estimulado, o organismo passa a produzir anticorpos que estarão disponíveis no sangue somente após alguns dias. Nessa primeira inoculação, a resposta imunológica é lenta, com produção de pequena quantidade de anticorpos. Entretanto, ela deixa o organismo preparado ou programado para que, se uma segunda inoculação ocorrer, a resposta imunológica seja mais rápida e com maior produção de anticorpos. Desse modo, se o indivíduo vacinado for infectado por vírus ou bactéria causadores de uma doença contra a qual já recebeu vacina, ele já estará pronto para reagir contra esses seres, e a doença não se manifestará.

No presente capítulo, mencionamos a existência de vacinas para algumas das doenças provocadas por vírus. A tabela ao lado refere-se a algumas delas, acrescenta outras e especifica as idades em que devem ser aplicadas. Ela se baseia no Calendário Básico de Vacinação de acordo com a Fundação Nacional de Saúde.



Gráfico que representa:

- **resposta imunológica primária** — quando o indivíduo recebe o antígeno pela primeira vez; o tempo para a produção de anticorpos é maior e a quantidade de anticorpos produzidos é menor, comparando-se com o que ocorre na resposta secundária;
- **resposta imunológica secundária** — quando o indivíduo recebe o mesmo antígeno pela segunda vez: o tempo para a produção de anticorpos é menor e a quantidade de anticorpos produzidos é maior, comparando-se com o que ocorre na resposta primária.

Idade	Vacina
Ao nascer	Vacina contra tuberculose (BCG) e vacina contra hepatite B
1 mês	Vacina contra hepatite B
2 meses	Vacina contra difteria, coqueluche e tétano e outras infecções causadas pelo <i>Haemophilus influenzae</i> tipo b (DPT + Hib) e vacina contra poliomielite (Sabin)
4 meses	DPT + Hib e Sabin
6 meses	DPT + Hib, Sabin e hepatite B
12 meses	Vacina contra sarampo, rubéola e caxumba (tríplice viral)
15 meses	DPT e Sabin
6 a 10 anos	BCG
10 a 11 anos	Vacina de reforço contra difteria e tétano (DT ou dT), seguindo uma dose a cada 10 anos.

7. (Cefet-PR) Em referência aos vírus é correto afirmar:

- a) O vírus da AIDS pertence ao grupo dos retrovírus, por apresentar DNA como material genético.
- b) No ciclo reprodutivo lisogênico do vírus bacteriófago, o DNA viral é incorporado ao DNA bacteriano, não interferindo no metabolismo bacteriano.
- c) São exemplos de doenças causadas por vírus: sarampo, pneumonia, poliomielite e raiva.
- d) Os vírus são parasitas intracelulares obrigatórios, cuja reprodução é por estrobilização.
- e) Transcriptase reversa é uma enzima que permite ao vírus fazer uma molécula de RNA a partir da molécula de DNA viral.

8. (Fuvest-SP) Os bacteriófagos são constituídos por uma molécula de DNA envolta em uma cápsula de proteína. Existem diversas espécies, que diferem entre si quanto ao DNA e às proteínas constituintes da cápsula. Os cientistas conseguem construir partículas virais ativas com DNA de uma espécie e cápsula de outra. Em um experimento, foi produzido um vírus contendo DNA do bacteriófago T2 e cápsula do bacteriófago T4. Pode-se prever que a descendência desse vírus terá:

- a) cápsula de T4 e DNA de T2.
- b) cápsula de T2 e DNA de T4.
- c) cápsula e DNA, ambos de T2.
- d) cápsula e DNA, ambos de T4.
- e) mistura de cápsulas e DNA de T2 e de T4.



QUESTÕES DISCURSIVAS

Utilize o texto abaixo para responder às questões de números 1 e 2.

A enzima transcriptase reversa é encontrada em retrovírus.

Muitos pesquisadores, atualmente, procuram descobrir novas substâncias que sejam inibidoras específicas dessa enzima.

- 1.** (UERJ) Descreva a função da transcriptase reversa no mecanismo de replicação do vírus da AIDS.
- 2.** (UERJ) Justifique por que um inibidor específico da transcriptase reversa não causaria danos às células humanas.
- 3.** (UFPB) A Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS) é causada por um retrovírus. Trata-se de uma doença gravíssima, para a qual, a despeito dos inúmeros esforços que vêm sendo feitos pelos cientistas, ainda não foi descoberta a cura. Sobre essas considerações:
 - a) Explique por que o termo “imunodeficiência” é empregado na denominação dessa síndrome.
 - b) Explique o que é retrovírus.
 - c) Cite um meio de transmissão da AIDS.
 - d) Cite uma medida profilática a ser tomada contra a AIDS.
- 4.** (UFCE) A AIDS tende a se tornar uma doença crônica (e não fatal) graças ao maior conhecimento científico e à precocidade no tratamento. Recentemente, um passo importante foi dado nesse sentido com a utilização de um “coquetel antiaids”, desenvolvido pela equipe do doutor David Ho, que dirige o centro Aaron Diamond, de Nova York, onde se pesquisa a doença. O coquetel é uma combinação de drogas que inibem a ação da **transcriptase reversa** e de **proteases**. Com base no texto acima, pergunta-se:
 - a) Que tipo de moléculas são essas, inibidas pelas drogas que compõem o coquetel?
 - b) Qual a função desempenhada por cada uma dessas moléculas (que são inibidas) utilizadas pelo vírus para se multiplicar?
- 5.** (UERJ) Recentemente, diversos casos de febre amarela foram confirmados em pacientes que residiam nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro e haviam viajado para regiões de florestas no interior do país. A forma silvestre da doença é endêmica em algumas regiões, mas a febre amarela urbana foi erradicada do Brasil desde 1927. Identifique o agente transmissor de febre amarela urbana e aponte uma forma de combate dessa doença nas grandes cidades.
- 6.** (UFOP-MG) A hepatite A é uma doença infecciosa associada a um vírus. Considerando um surto dessa doença numa determinada região, explique:
 - a) Por que os alimentos e a água de abastecimento são imediatamente incriminados nesse surto?
 - b) Por que, para a prevenção dessa doença nessa situação, aconselha-se consumir água fervida e não apenas filtrada?
- 7.** (Unifesp) A revista *Ciência Hoje* (nº 140, 1998) publicou um artigo relatando que pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz desenvolveram uma vela preparada com o bagaço da semente de andiroba, cuja queima é capaz de inibir o apetite das fêmeas do mosquito *Aedes aegypti*.
 - a) Cite uma doença transmitida por esse mosquito.
 - b) Explique, através do mecanismo de contágio, como a vela de andiroba pode colaborar na diminuição da proliferação dessa doença.

Reino Monera

1. Introdução

O Reino Monera compreende as bactérias e as cianobactérias, que são seres procariontes. Esses organismos podem viver como células isoladas, microscópicas, ou formar colônias visíveis a olho nu, compostas de muitos indivíduos.

Atualmente, os procariontes são classificados em dois grandes grupos, com base na análise do RNAr e em outras características: **Archaea** (arqueobactérias; *archeo* = antigo, primitivo) e **Bacteria** ou **Eubacteria** (bactérias e eubactérias; *eu* = verdadeiro).

O grupo das arqueobactérias é formado por pequeno número de espécies, que vivem na maioria dos casos em ambientes com condições ecológicas adversas para os demais seres vivos. É o caso das fontes termais (com água muito quente), onde vivem as **termófilas extremas**; das águas muito salinas, onde vivem as **halófilas extremas**; e dos pântanos sem oxigênio, onde vivem as **metanogênicas**, produtoras de gás metano, também conhecido por gás dos pântanos. As arqueobactérias metanogênicas ocorrem também no trato digestório de animais ruminantes.

As eubactérias correspondem às demais bactérias e cianobactérias, e será nelas que deteremos nossa atenção neste capítulo.

As bactérias são muitas vezes lembradas como formas nocivas aos demais seres vivos, pois podem causar doenças. Entretanto, apenas poucas espécies causam doenças nos seres humanos e em outros organismos.

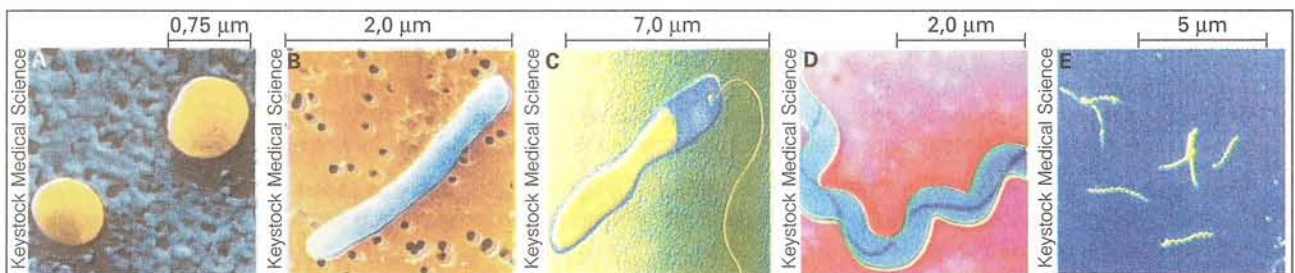
As bactérias são lembradas também por estragarem alimentos, decompondo-os e deixando-os impróprios ao consumo. Isso realmente ocorre, mas os procariontes são fundamentais para a manutenção da vida em nosso planeta:

- algumas espécies atuam como **decompositoras**, degradando organismos mortos e com isso contribuindo para a reciclagem da matéria orgânica no planeta;
- outras espécies são **fotossintetizantes**, como é o caso das cianobactérias, participando como produtoras nas cadeias alimentares e contribuindo com a liberação do oxigênio no ambiente;
- algumas espécies são quimiossintetizantes e importantes produtoras em ambientes especiais, como as fontes termais submarinas, comentadas no capítulo 1;
- certas espécies vivem em associação com outros organismos, trazendo-lhes benefícios, como é o caso das bactérias que ocorrem na nossa flora intestinal e que produzem vitamina K;
- algumas espécies são usadas na indústria de alimentos para a produção de iogurtes e outros produtos.

Neste capítulo vamos comentar um pouco sobre a estrutura, a reprodução e o metabolismo desses interessantes organismos e abordar as bactérias patogênicas para a espécie humana.

2. Diversidade morfológica entre as bactérias

Existe grande diversidade de formas entre os procariontes, as mais comuns são:

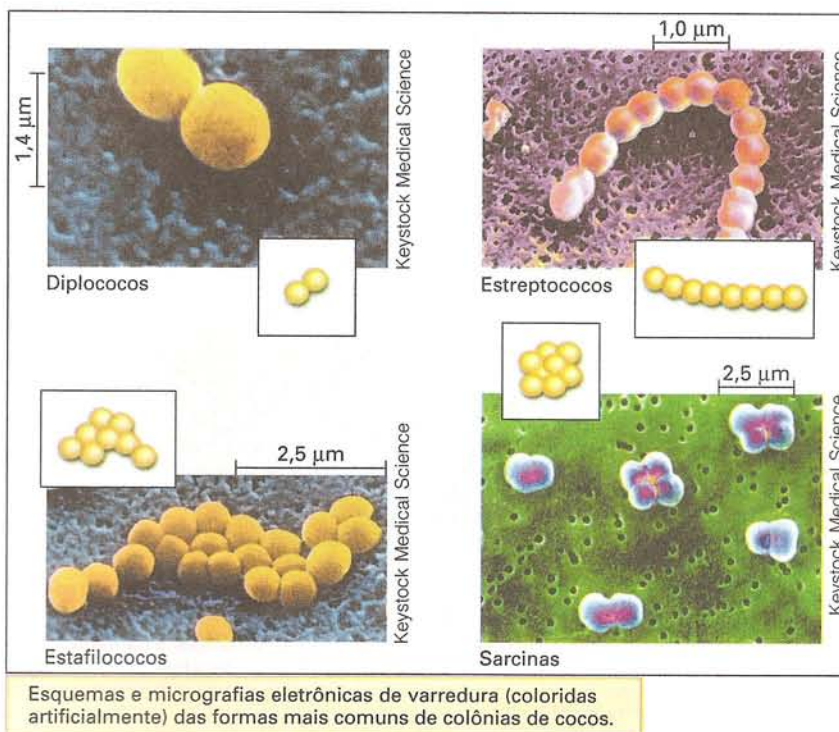


Formas mais comuns de bactérias: **A** — coco; **B** — bacilo; **C** — vibrião; **D** — espirilo; **E** — espiroqueta.

A, B, C e D são micrografias eletrônicas de varredura; **E** é micrografia. Todas foram coloridas artificialmente.

Os **cocos** e, mais raramente, os **bacilos** podem formar colônias, o que não acontece com os **espirilos**, as **espiroquetas** e os **vibriões**.

As colônias de cocos formam arranjos típicos para espécies particulares de bactérias. Esses arranjos podem ser:



Esquemas e micrografias eletrônicas de varredura (coloridas artificialmente) das formas mais comuns de colônias de cocos.

A maior parte dos procariontes possui **parede celular**, cuja composição química é diferente da encontrada nas plantas (celulose) e nos fungos (basicamente quitina). Ela é formada principalmente por **peptidoglicano** (ou peptoglicano), que são moléculas de carboidrato ligadas a aminoácidos.

Existe apenas um grupo de bactérias, chamado **micoplasma**, que não tem parede celular. Existem espécies dessas bactérias que vivem no solo e no esgoto e outras que são parasitas de plantas ou de animais, como a que causa um tipo brando de pneumonia em seres humanos.

Eubactérias especiais: parasitas intracelulares obrigatórias

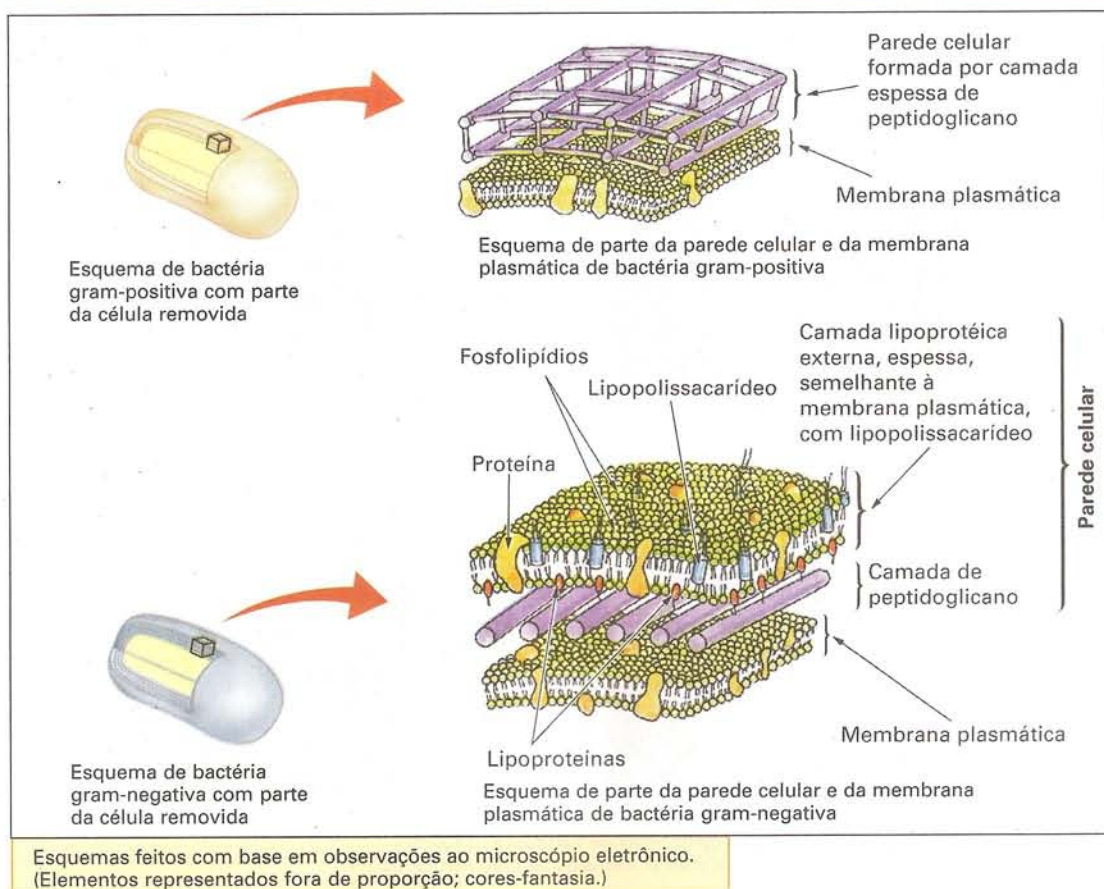
Existem dois grupos muito particulares de eubactérias, as riquetsias e as clamídias, que são parasitas intracelulares obrigatórios, à semelhança do que ocorre com os vírus.

As **riquetsias** vivem dentro ou na superfície de células vivas de artrópodes e vertebrados. Uma das doenças que causam em humanos é o **tifo epidêmico** (grave comprometimento do estado geral, febre alta que se mantém por algum tempo, alterações cutâneas). São transmitidas principalmente pela picada de pulgas, carrapatos e piolhos contaminados por essas bactérias. Outra doença causada pelas riquetsias é a **febre maculosa**, transmitida pela picada de carrapatos; esta doença será abordada mais adiante no presente capítulo.

As **clamídias** são transmitidas aos humanos de modo direto, pessoa a pessoa. São exemplos de doenças humanas causadas por esses organismos o **tracoma** (que causa cegueira) e o **linfogranuloma venéreo** (doença sexualmente transmissível).

Pelo método de Gram (desenvolvido por Hans Christian Gram), as bactérias podem ser classificadas em **gram-positivas** ou **gram-negativas**. Nesse método elas são submetidas a um corante violeta especial que evidencia a presença de peptidoglicano. As bactérias gram-positivas retêm

o corante, mas as gram-negativas não, porque estas têm uma camada externa adicional, semelhante a uma segunda membrana plasmática, que evita o contato do corante com o peptidoglicano. As bactérias gram-positivas são mais sensíveis a antibióticos.



A diversidade metabólica nos procariontes é enorme e muito maior do que a verificada nos eucariontes.

As bactérias podem ser heterótrofas ou autótrofas.

As **heterótrofas** podem realizar os vários tipos de **fermentação** e vários tipos de **respiração**, como a **aeróbia** e a **anaeróbia**.

Dentre as **autótrofas** existe grande diversidade de mecanismos. Muitas bactérias realizam **quimiossíntese**, mas o processo autotrófico mais comum é a **fotossíntese**. São duas as formas de fotossíntese que podem ser realizadas pelos moneras:

- uma forma semelhante à de outros organismos clorofilados, como as plantas e certos protistas; é realizada pelas cianobactérias, e os pigmentos fotossintéticos envolvidos são **clorofila a**, **ficoeritrina** (pigmento vermelho) e **ficocianina** (pigmento azul).

Micrografia de *Anabaena*, uma cianobactéria que forma colônias filamentosas.



- uma forma diferente dos demais organismos clorofilados e exclusiva de certas bactérias, como as **"púrpuras"**; nesta forma particular de fotossíntese o pigmento fotossintético é a **bacteriorodofila**, que absorve principalmente a luz infravermelha. Essas bactérias usam CO_2 e gás sulfídrico (H_2S) para a síntese de matéria orgânica. Como não usam H_2O , não há liberação de oxigênio, mas de enxofre, que fica acumulado nas células:

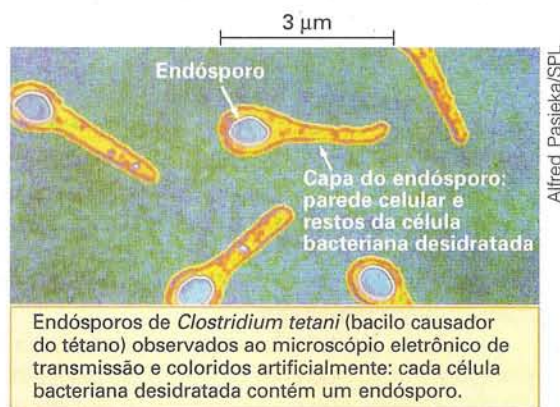


Outras bactérias e cianobactérias conseguem **fixar o nitrogênio** do meio e transformá-lo de modo que ele possa ser aproveitado pelas plantas e demais seres vivos na síntese de proteínas e ácidos nucleicos.

3. Reprodução nos moneras

As bactérias possuem alto poder de reprodução assexuada por **bipartição**. Por esse processo, em algumas horas, sob condições ambientais adequadas, uma única bactéria pode dar origem a milhares de descendentes geneticamente idênticos entre si, formando clones.

É comum entre as bactérias a formação de estruturas de resistência: os **endósporos** (*endo* = dentro, interno). Estes são produzidos no interior da célula, quando as condições do meio se tornam adversas. O endósporo resiste até que as condições melhorem e muitos resistem até mesmo à água fervente. A indústria de alimentos preocupa-se em tomar providências para que os endósporos não estejam presentes durante o processo de acondicionamento dos alimentos.



Alfred Pasieka/SPL

Arma biológica: por que o antraz?

Apesar de não ser a mais fatal das armas biológicas, por causar uma doença que não se transmite de pessoa para pessoa e é curável se tratada a tempo, o maior atrativo do antraz para uso como arma biológica é o fato de essa bactéria produzir esporos. Formas de resistência, os esporos dessa espécie de bactéria podem ficar dezenas ou centenas de anos no ambiente. Quando as condições ambientais tornam-se mais adequadas, a bactéria “desperta” e começa a se multiplicar. É o caso do corpo humano, um ambiente quente e úmido, totalmente propício ao desenvolvimento dessa bactéria.

Formas de contaminação pelo antraz

Tratamento e prevenção

Quando a doença é diagnosticada a tempo, o doente pode ser tratado com diversos tipos de antibiótico, inclusive a penicilina. Apesar de não ser simples, quando as autoridades médicas já estão em alerta, o diagnóstico costuma não tardar. A eficácia da vacina não é 100% garantida e só age durante um determinado período. A aplicação também não é em dose única e existem efeitos colaterais, o que tem restringido seu uso à população de maior risco.



A infecção pela pele é a forma mais comum de adquirir a doença. Os primeiros sintomas são úlceras cutâneas, que podem ser tratadas com medicamento. Os casos de morte por infecção cutânea são raros.



Quando o esporo é inalado e a infecção atinge o sistema respiratório, o quadro se complica. Os sintomas, tosse seca, dor no corpo e febre, assemelham-se muito aos de uma gripe, o que dificulta o diagnóstico. Quando a pessoa procura tratamento, a infecção frequentemente já se agravou, o que pode causar necrose pulmonar e morte.



No caso de contaminação por ingestão, a pessoa desenvolve sintomas semelhantes aos de uma intoxicação alimentar. Cólica, dores abdominais e diarreia, que pode se agravar e ser fatal. Essa forma de contaminação é mais rara e mais grave. O diagnóstico pode ser feito pela cultura de fezes.

Representação esquemática de parte do corpo de uma pessoa em que se destacam, por transparência, alguns órgãos internos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia; os esporos não são visíveis a olho nu.)

As armas biológicas mais eficazes são as que causam doenças transmitidas pelo ar, de pessoa para pessoa, como a varíola, cujo número de casos cresce em progressão geométrica e alcança uma abrangência difícil de ser contida.

A idéia de utilizar organismos vivos e elementos químicos como instrumentos bélicos não é nova. Ao que tudo indica, a criatividade, uma incrível faculdade humana, trabalha há muito tempo a serviço da maldade.

Desde o século XIV, na época em que a **peste bubônica** eliminou quase um quarto da população européia, cadáveres humanos eram catapultados para dentro dos muros das cidades para causar contaminações.

Adaptado de: *Jornal da USP*, 22 a 28 out. 2001.

Antraz e seres humanos

O antraz e os seres humanos são velhos conhecidos. A bactéria, que provoca feridas negras como o carvão (daí o nome *anthracis*, que significa carvão em grego), é a causa de uma das doenças de animais mais antigas já registradas, conhecida como **carbúnculo**.

Sua estréia na história está registrada na *Bíblia*, em que aparece como a sexta praga do Egito.

O bacilo causador dessa doença só seria isolado séculos depois, em 1876, pelo bacteriologista alemão Robert Koch (1843-1910), que empresta seu nome a outra bactéria famosa, a da tuberculose. Num feito inédito, ele demonstrou que a doença era causada por um microrganismo, trabalho que inaugurou uma nova ciência, a **Microbiologia**.

Outro cientista famoso, o francês Louis Pasteur (1825-1895), foi mais além. Em 1881 desenvolveu a primeira vacina bacteriana, contra o *Bacillus anthracis*. Pasteur impressionou-se com a capacidade de resistência da bactéria, que podia sobreviver por décadas no solo, na forma de esporos, e voltar a infectar animais. De tão espantado, batizou os pastos contaminados de “campos malditos”.

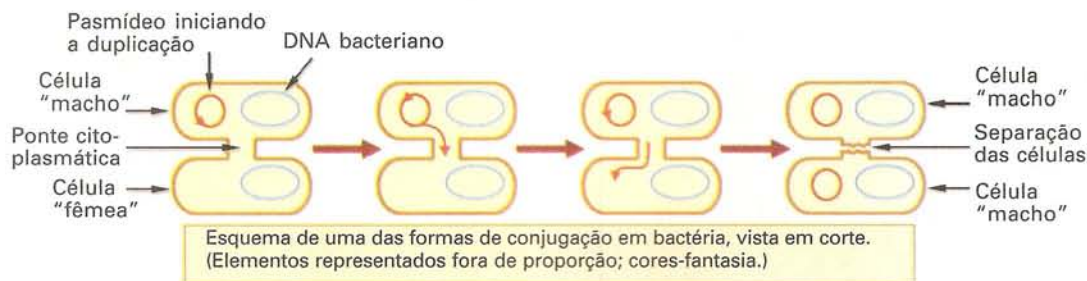
O poder de fogo do micróbio começou a ser mais claramente demonstrado no século XX. Na década de 1930, o Japão usou o antraz, além da bactéria da peste, contra os chineses, durante a invasão da Manchúria.

Apesar da letalidade da contaminação pela via respiratória, quem lida com o antraz afirma que casos naturais da infecção em seres humanos são raros, e o tratamento, antes de aparecerem os sintomas graves, pode ser feito com antibióticos comuns.

Adaptado de: *Folha de S. Paulo*, 19 out. 2001.

Algumas bactérias apresentam mecanismos que aumentam a variabilidade genética. São os seguintes:

- **conjugação:** duas bactérias unem-se e estabelecem entre si uma ponte de transferência. Uma delas, chamada de “macho”, duplica parte de seu DNA e doa essa parte para a outra bactéria, que é chamada de “fêmea”;



- **transformação:** uma bactéria absorve moléculas de DNA disponíveis no meio e incorpora-as ao seu DNA. Essas bactérias ficam então com constituição genética modificada e são chamadas de transformadas;
- **transdução:** transferência de genes de uma bactéria para outra por intermédio de vírus. Estes, quando se formam dentro de uma bactéria, podem incorporar ao seu próprio DNA pedaços do DNA bacteriano. Ao infectar outra bactéria, transmitem esses genes. Caso essa bactéria sobreviva à infecção viral, passará a apresentar novas características.

4. As bactérias e a saúde humana

As bactérias são agentes etiológicos de diversas doenças, como resumido a seguir:

Botulismo

- **Agente etiológico:** *Clostridium botulinum*.
- **Modo de transmissão:** ingestão da toxina liberada pela bactéria, principalmente em alimentos enlatados e conservas artesanais.
- **Características da infecção:** a toxina bloqueia a transferência dos sinais nervosos para os músculos.
- **Medidas profiláticas:** cuidados higiênicos ao processar alimentos; não consumir alimentos contidos em latas estufadas.

Cólera

- **Agente etiológico:** *Vibrio cholerae*.
- **Modo de transmissão:** ingestão de água ou alimentos contaminados pela bactéria.
- **Características da infecção:** diarreia acentuada com fezes em “água de arroz”, vômitos e câibras. Sem tratamento, pode ocorrer morte por desidratação e paralisia dos rins.
- **Medidas profiláticas:** tratamento dos doentes; saneamento básico; ingerir água somente fervida ou clorada; lavar bem verduras e frutas; não ingerir frutos do mar crus, apenas bem cozidos.

Coqueluche

- **Agente etiológico:** *Bordetella pertussis*.
- **Modo de transmissão:** inalação de gotículas espalhadas no ar pela fala, tosse ou espirros de pessoas contaminadas pela bactéria.
- **Características da infecção:** febre baixa, coriza, surtos de tosse seca, vômitos; podem ocorrer complicações: pneumonia, convulsões e hemorragias cerebrais.
- **Medidas profiláticas:** tratamentos dos doentes; vacinação; evitar contato com doentes.

Difteria (também conhecida como crupe)

- **Agente etiológico:** *Corynebacterium diphtheriae*.
- **Modo de transmissão:** inalação de gotículas eliminadas no ar pelo nariz e pela boca de pessoas contaminadas pela bactéria.
- **Características da infecção:** a bactéria produz uma toxina que afeta principalmente cavidades nasais, tonsilas (amígdalas), faringe e laringe. Pode ocorrer morte por asfixia.
- **Medidas profiláticas:** tratamento dos doentes; vacinação; evitar contato com doentes.

Febre maculosa

- **Agente etiológico:** *Rickettsia rickettsii* (bactérias especiais, pois são parasitas intracelulares obrigatórios, da mesma maneira que os vírus).
- **Modo de transmissão:** picada do carrapato-estrela (*Amblyomma cajannense*) ou de fases de seu ciclo de vida (ninfas) conhecidas popularmente por micuins e vermelhinhos; esses carrapatos são ectoparasitas de aves, mamíferos (cavalo, boi, capivara) e cobras.
- **Características da infecção:** febre, vômitos, dores de cabeça e musculares, manchas vermelhas no corpo; caso não haja tratamento, o quadro pode evoluir até a morte.
- **Medidas profiláticas:** evitar caminhar em locais sabidamente infectados por carrapatos sem proteger o corpo com calça comprida e botas (quando isso for necessário, vistoriar o corpo em busca de carrapatos em intervalos de 3 horas e retirar o animal sem esmagá-lo); usar carrapaticidas em animais domésticos.

Hanseníase ou lepra

- **Agente etiológico:** *Mycobacterium leprae*.
- **Modo de transmissão:** através da pele (quando ocorrem microlesões) e do trato respiratório.
- **Características da infecção:** afeta o sistema nervoso causando vários sintomas, dentre eles falta de sensibilidade no corpo; surgem lesões na pele.
- **Medidas profiláticas:** além de tratar os doentes, aplicar vacina BCG (a mesma usada contra tuberculose) nas pessoas que moram com os doentes.

Leptospirose

- **Agente etiológico:** bactérias do gênero *Leptospira*.
- **Modo de transmissão:** animais, como ratos, eliminam leptospiros vivas pela urina e contaminam água e alimentos; as bactérias penetram no corpo humano principalmente através da pele, mas podem penetrar também pelas mucosas da boca, narinas e olhos.
- **Características da infecção:** febre alta, dor de cabeça, dores musculares, náusea, vômitos, aumento do fígado, hemorragia digestiva, lesões na pele e problemas respiratórios, podendo ocorrer morte.
- **Medidas profiláticas:** por ser comum em épocas de enchentes, uma das formas de combate é a prevenção de enchentes; tratamento do lixo (evitar lixões onde proliferam ratos); tratamento da água; vigilância sanitária de alimentos.

Meningite epidêmica

- **Agente etiológico:** *Neisseria meningitidis* (conhecida como meningococo).
- **Modo de transmissão:** inalação de gotículas de secreções eliminadas pela boca e pelo nariz de pessoas contaminadas pela bactéria.
- **Características da infecção:** afeta as meninges (membranas que envolvem a medula e o encéfalo); ocorrem dor de cabeça intensa, febre, rigidez da nuca, vômito e pode evoluir até a morte.
- **Medidas profiláticas:** tratamento dos doentes; vacinação; evitar ambientes abafados e com aglomerações de pessoas; isolar o doente em hospitais especializados.

Pneumonia

- **Agente etiológico:** *Streptococcus pneumoniae* ou *Diplococcus pneumoniae*.
- **Modo de transmissão:** inalação de ar contaminado por essas bactérias.
- **Características da infecção:** infecção pulmonar.
- **Medidas profiláticas:** tratamento dos doentes e evitar contato com eles na fase de manifestação da doença.

Sífilis

- **Agente etiológico:** *Treponema pallidum*.
- **Modo de transmissão:** por via sexual (relação sexual com pessoa contaminada); por via congênita (contaminação do feto por meio da placenta de mães portadoras da bactéria).
- **Características da infecção:** inflamação na pele e nos ossos, doenças respiratórias, esterilidade; pode causar a morte do feto, ou este pode nascer normal e apresentar sintomas da doença na infância.
- **Medidas profiláticas:** tratamento dos doentes; uso de camisinha nas relações sexuais.

Tétano

- **Agente etiológico:** *Clostridium tetani*.
- **Modo de transmissão:** os esporos desse bacilo são encontrados principalmente no solo. Podem penetrar no corpo humano quando ocorre uma lesão causada por objetos contaminados.
- **Características da infecção:** os bacilos liberam uma neurotoxina que desencadeia principalmente fortes contrações musculares; pode ocorrer parada respiratória e/ou cardíaca.
- **Medidas profiláticas:** vacinação, com reforço a cada 10 anos; evitar ferimentos, especialmente com objetos sujos de terra ou esterco; cuidados no parto.

Tuberculose

- **Agente etiológico:** *Mycobacterium tuberculosis*.
- **Modo de transmissão:** inalação de gotículas espalhadas no ar pela fala, espirro e tosse de pessoa contaminada pela doença.
- **Características da infecção:** atinge os pulmões, provocando infecções, e pode passar para o sangue e a

linfa, atingindo, através deles, outras estruturas do corpo, como fígado, baço, medula óssea, rins e sistema nervoso.

- **Medidas profiláticas:** vacinação e tratamento dos doentes.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Com base nas informações do capítulo 13 e nas do presente capítulo, relacione as doenças causadas por vírus e por bactérias na espécie humana. Dentre elas, indique aquelas para as quais já existe vacina. Para facilitar a sua resposta, construa duas tabelas como sugerido aqui e nelas assinale com X quando existir vacina:

Doenças viróticas	Vacinas

Doenças bacterianas	Vacinas

2. Com esse estudo em mãos, faça junto com seus colegas cartazes ou textos que possam ser utilizados para esclarecer a população em geral sobre a importância da prevenção dessas doenças e sobre como essa prevenção pode ser feita.

3. Represente esquematicamente as diferentes formas de bactérias e das colônias.

4. Comente a diversidade metabólica das bactérias e diga quais são os principais mecanismos autotróficos e quais os principais mecanismos heterotróficos.

5. Explique o que são endósporos e relacione-os com o uso de bactérias como armas biológicas.

6. Explique, por meio de esquemas com texto explicativo, os mecanismos de transmissão de material genético de uma bactéria para outra.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

As bactérias podem ajudar a resolver problemas do esgoto e do lixo

Os seres humanos aprenderam vários modos de lidar com a diversidade metabólica das bactérias. É o caso da utilização dessas bactérias na indústria alimentícia, como a de laticínios: iogurtes e queijos são produzidos com o auxílio de bactérias. Outro exemplo é a utilização das bactérias no tratamento de esgotos e lixo.

Em estações de tratamento de esgotos há primeiramente a filtragem grosseira do material, para se fazer a separação dos detritos maiores. Usa-se para isso uma tela filtradora e depois um filtro de areia. Depois que sólidos e líquidos estão separados, os sólidos são conduzidos para tanques onde bactérias anaeróbias vão converter a matéria orgânica em produtos que podem ser usados como fertilizantes, após

a devida esterilização. A parte líquida dos esgotos é tratada separadamente por um sistema de filtros em tanques especiais, onde bactérias aeróbias vão atuar, degradando a matéria orgânica. Essa água então é devidamente esterilizada, principalmente com a adição de cloro, podendo ser devolvida aos rios ou oceanos.

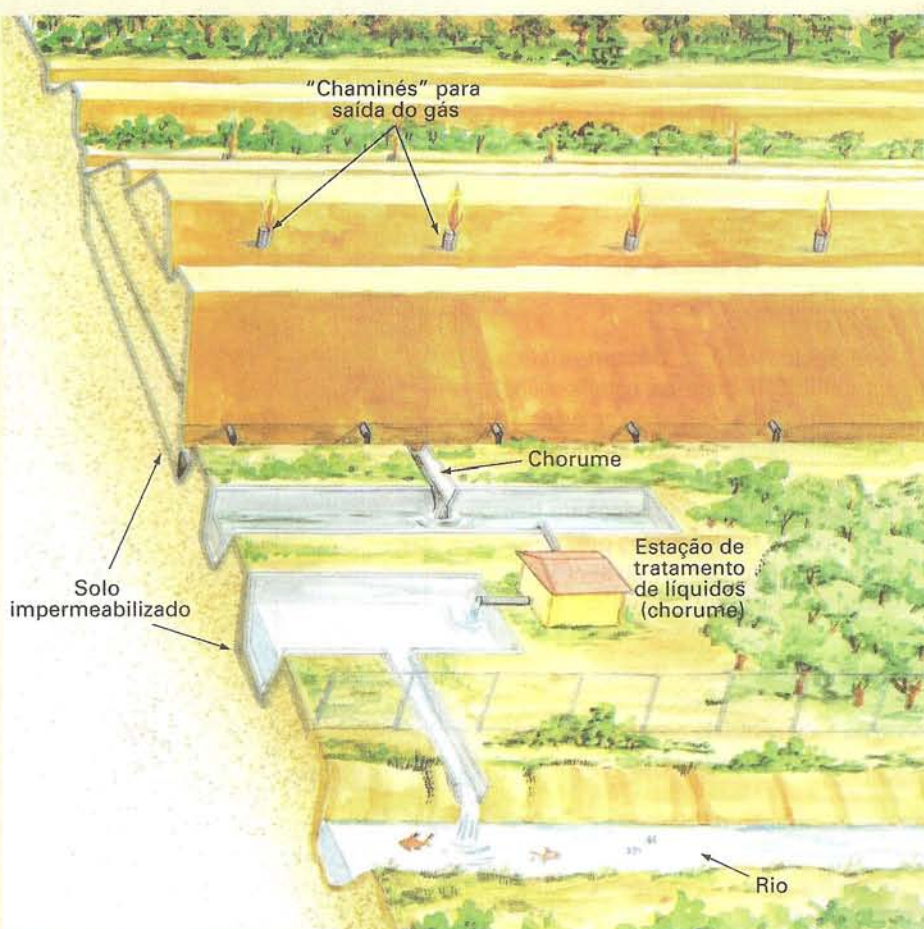
O tratamento de esgoto também é fundamental para se evitar a transmissão de doenças: um litro de esgoto não-tratado pode conter até 20 bilhões de bactérias, muitas delas patogênicas para o ser humano, como é o caso das causadoras da cólera, da febre tifóide e da disenteria. Em uma análise bacteriológica, a água é considerada de boa qualidade se apresentar menos de dez bactérias do tipo coliforme e menos de mil bactérias de outros tipos por litro de água.

O lixo doméstico também precisa receber tratamento adequado. Iremos retomar o problema do lixo em outro momento neste livro, aqui vamos apenas comentar um pouco sobre os lixões e os aterros sanitários. Os lixões são depósitos de lixo a céu aberto, onde o lixo é jogado sem qualquer tipo de cuidado. O mau cheiro e o risco de contaminação do meio são grandes.

Nos aterros sanitários, o lixo recebe um tratamento de modo a reduzir o impacto sobre o meio ambiente. O lixo é colocado em locais previamente preparados para esse fim e coberto de modo que não fique exposto. Nos aterros, as bactérias anaeróbias contribuem para a decomposição da matéria

orgânica. Dentre essas bactérias anaeróbias estão as metanogênicas, que produzem o gás metano. Como a produção desse gás é intensa, devem existir, nos aterros, locais próprios para a saída desse gás, que pode ser coletado e aproveitado como combustível. Em aterros em que não há aproveitamento, esse gás é geralmente queimado.

Na decomposição da matéria orgânica há também formação de líquidos (chorume), que devem ser coletados por drenos e conduzidos para uma estação de tratamento antes de entrarem em contato com a água de rios. Para evitar a contaminação do solo, o local onde os aterros serão construídos deve ser previamente impermeabilizado.



Esquema de um aterro sanitário. Fonte: *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas — IPT, 1995.

- Como já foi dito, mais adiante neste livro vamos voltar ao problema do lixo. Para o momento, procure saber o que acontece com o lixo doméstico em sua cidade: ele é jogado em lixões (locais de depósito de lixo a céu aberto) ou existe aterro sanitário ou outro modo de tratamento do lixo? Analise os problemas relacionados com os riscos que os lixões podem representar à nossa saúde.



TESTES

1. (MACK-SP) Algumas classificações colocam bactérias e cianobactérias num mesmo reino, por apresentarem certas características em comum, tais como:

- a) ausência de ribossomos.
- b) ausência de reprodução sexuada.
- c) ausência de membrana plasmática.
- d) presença de parede celulósica em suas células.
- e) ausência de organelas membranosas no citoplasma.

2. (Fuvest-SP) Os antibióticos atuam contra os agentes causadores das seguintes doenças:

- a) tuberculose, coqueluche e hepatite.
- b) tuberculose, sífilis e gripe.
- c) tétano, sífilis e gripe.
- d) tuberculose, coqueluche e sífilis.
- e) coqueluche, sífilis e sarampo.

3. (Fuvest-SP) A maior parte do nitrogênio que compõe as moléculas orgânicas ingressa nos ecossistemas pela ação de:

- a) algas marinhas.
- b) animais.
- c) bactérias.
- d) fungos.
- e) plantas terrestres.

4. (PUC-SP) Na década de 1920, o bacteriologista Alexander Fleming, cultivando linhagens de estafilococos, notou que uma das placas de cultura, contendo colônias de bactérias, apareceu contaminada por um tipo de fungo. Ao transferir o fungo para um caldo nutritivo, Fleming verificou que nesse meio não se desenvolviam vários tipos de bactérias, devido à ação de substâncias produzidas pelo fungo. Esse trabalho foi um dos mais significativos do século XX, pois permitiu aos cientistas, posteriormente, a produção de:

- a) hormônios, utilizados no tratamento de doenças hereditárias.
- b) corticóides, utilizados no tratamento de doenças alérgicas.
- c) antibióticos, utilizados no tratamento de doenças infecciosas.
- d) vacinas, utilizadas na imunização de doenças causadas por fungos e bactérias.
- e) soros, utilizados na imunização de doenças causadas por fungos e bactérias.

5. (ESPM-SP) A leptospirose é uma doença que se alastra em situações de enchente porque, nesses casos, aumenta a:

- a) contaminação do ar por bactérias que causam a doença.
- b) contaminação do ar por vírus que causam a doença.
- c) presença de caramujos que transmitem a doença.
- d) contaminação da água pela urina de rato que transmite a doença.
- e) proliferação de insetos que transmitem a doença.

6. (Fuvest-SP) A tabela seguinte apresenta algumas doenças, seus sintomas, formas de transmissão e agentes transmissores:

Doenças	Sintoma	Transmissão por	Agente transmissor
Tétano	Febre e rigidez muscular	I	II
III	Febre alta, tosse e manchas vermelhas na pele	Contato com indivíduos portadores da enfermidade	IV
Cólera	V	Ingestão de água ou alimentos contaminados	Bactéria

A tabela estará corretamente preenchida quando os espaços I, II, III, IV e V forem substituídos por:

	I	II	III	IV	V
a)	Feridas produzidas por objetos sujos de terra ou de esterco	Bactéria	Sarampo	Vírus	Diarréia e vômitos
b)	Feridas produzidas por objetos sujos de terra ou de esterco	Vírus	Sarampo	Vírus	Febre alta e dores de cabeça
c)	Penetração ativa através da pele e mucosas	Protozoário	Meningite	Vírus	Diarréia e vômitos
d)	Ingestão de água ou alimentos contaminados	Bactéria	Meningite	Bactéria	Febre alta e dores de cabeça
e)	Ingestão de água ou alimentos contaminados	Bactéria	Malária	Bactéria	Alterações do sistema nervoso

7. (UFMS) Associe a coluna da esquerda de acordo com a coluna da direita e indique a(s) afirmativa(s) correta(s).

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| 1 — Doenças causadas por bactérias | (A) Tétano |
| 2 — Doenças causadas por vírus | (B) Caxumba |
| | (C) Sífilis |
| | (D) Sarampo |
| | (E) Tuberculose |
| | (F) Raiva |
| | (G) Hepatite |
| | (H) Hanseníase (Lepra) |
| | (I) Cólera |
| (01) 1-A 1-B 1-C 1-E | (08) 1-B 1-E 2-H 2-G |
| (02) 1-A 1-C 2-B 2-D 2-F | (16) 1-B 1-C 2-D 2-F |
| (04) 1-H 1-I 2-F 2-G | (32) 1-B 2-D 2-F 2-H |

8. (UFPR) A peste bubônica é causada por *Yersinia pestis*, um bacilo pequeno, gram-positivo, e que no século XIV dizimou aproximadamente 25% da população européia em uma epidemia que influenciou o curso da história.

O reservatório animal são roedores silvestres como marmotas e esquilos e roedores urbanos como os ratos. São as pulgas de ratos contaminados que, pelas picadas, transmitem a bactéria para outros ratos e para os homens, ocasionando nestes últimos a peste bubônica. Com a multiplicação extensa das bactérias no pulmão humano, o que resulta em broncopneumonia e em um grande número de bactérias no escarro, a infecção pode se espalhar de pessoa para pessoa através das gotículas das secreções aéreas. Trata-se aí da peste bubônica pneumônica.

Com base nessas informações, é correto afirmar:

- Yersinia pestis* é um bacilo que utiliza a pulga de roedores urbanos como reservatório.
- A pulga do rato é o vetor da peste bubônica.
- A peste bubônica em todas as suas formas é transmitida de pessoa para pessoa.
- A peste pneumônica tem transmissão interpessoal.
- Roedores silvestres e urbanos podem ser portadores de *Yersinia pestis*.

9. (UFRN) Em algumas bactérias, a transferência do material genético através de pontes citoplasmáticas é uma reprodução do tipo:

- transformação.
- conjugação.
- transdução.
- esporulação.

10. (UFMA) As bactérias reproduzem-se basicamente por um mecanismo assexuado em que uma bactéria dá origem a outras duas, geneticamente idênticas. Esse tipo de reprodução é denominado:

- bipartição.
- conjugação.
- brotamento.
- isogamia.
- hormogonia.

11. (Fuvest-SP) Considere as seguintes informações:

- A bactéria *Nitrosomonas europaea* obtém a energia necessária a seu metabolismo a partir da reação de oxidação de amônia a nitrato.
- A bactéria *Escherichia coli* obtém a energia necessária a seu metabolismo a partir da respiração aeróbica ou da fermentação.
- A bactéria *Halobacterium halobium* obtém a energia necessária a seu metabolismo a partir da luz captada por um pigmento chamado rodopsina bacteriana.

Com base nessas informações, *Nitrosomonas europaea*, *Escherichia coli* e *Halobacterium halobium* podem ser classificados, respectivamente, como organismos:

- autotróficos; autotróficos; autotróficos.
- autotróficos; heterotróficos; autotróficos.
- autotróficos; autotróficos; heterotróficos.
- autotróficos; heterotróficos; heterotróficos.
- heterotróficos; autotróficos; heterotróficos.



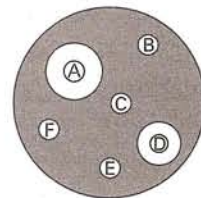
QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFRJ) Um grande número de doenças do homem é provocado por infecções bacterianas. Para combater essas infecções é comum o uso de antibióticos.

O exame de antibiograma é usado para escolher o antibiótico correto para cada infecção. Esse exame pode ser resumido da seguinte maneira: uma amostra do material infectado do paciente é semeada numa placa contendo nutrientes necessários para o crescimento das bactérias. Pequenos discos contendo, cada um deles, um tipo diferente de antibiótico são, então, colocados na placa. Decorrido o tempo necessário para que as bactérias se multipliquem, a placa é analisada.

Na figura ao lado, que mostra uma dessas placas, os discos com letras representam os diferentes antibióticos, e a zona escura, a área de crescimento das bactérias.

Analisando essa placa, que antibióticos você receitaria para o paciente? Justifique sua resposta.

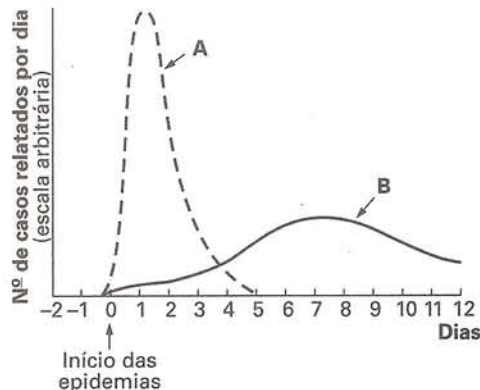


2. (UFRJ) As epidemias possuem características próprias, que dependem de sua origem. O gráfico ao lado representa o número de casos relatados numa determinada região, em função do tempo, de dois tipos de epidemia, A e B.

Uma das curvas corresponde a uma epidemia de cólera, num local em que há uma fonte comum de água contaminada. A outra curva representa a transmissão de gripe, uma doença que é transmitida de um hospedeiro ao outro.

O gráfico mostra também que, nos dois casos, as epidemias foram controladas.

Indique qual curva corresponde à epidemia de cólera e qual corresponde à da gripe. Justifique sua resposta.



3. (UFPEL-RS) “A Cólera é uma enfermidade infecciosa aguda, não-dolorosa, que se caracteriza por um começo abrupto com vômitos, náuseas e diarreia, ocasionando severa desidratação (perda de líquido diário, podendo alcançar 20 litros), que se reflete clinicamente por estado de sonolência do paciente, pele seca e enrugada, temperatura anormal, câimbra muscular, hipotensão arterial, oligúria e colapso circulatório. A morte, presente em mais de 50% dos casos não-tratados, é reflexo de um colapso ou necrose tubular ocasionada por choque hipovolêmico e desidratação. O diagnóstico se confirma pelo cultivo de vibriões coléricos no organismo ou vômitos.

Na maioria dos casos, o vírus é destruído na boca, mas, sobretudo nas zonas de cólera endêmica, muitos habitantes apresentam acloridria ou hipocloridria, fazendo com que seu suco gástrico não consiga destruir seus microrganismos. De todo modo, o que afirmou o Dr. Domingo Cabred do Manicômio As Mercedes, há mais de um século, continua vigente: *Há uma predisposição particular que os dementes apresentam à infecção — em especial, os desasseados.*”

(Medical Mag, 1991)

a) Diga em que grave erro de sistemática incorreu o autor na redação do texto acima.

b) A partir das campanhas desenvolvidas nos meios de comunicação, enumere **duas** formas de prevenção e **duas** de tratamento à doença em questão, respectivamente.

4. (UFRRJ) “Surto de cólera atinge centenas de pessoas na cidade paranaense de Paranaguá. Num período de apenas 12 dias, entre 26 de março e 7 de abril, mais de 290 habitantes da cidade de Paranaguá, no estado do Paraná, foram parar em hospitais com forte diarreia e uma perigosa desidratação. O cólera voltou a atacar — e com força.”

Adaptado de: Revista Época, 12 abr. 1999, p. 68.

a) Identifique o reino a que pertence o agente etiológico do cólera.

b) Cite duas formas de proteção contra essa doença.

5. (UFOP-MG) Fazendo um paralelo entre a hepatite A e a cólera, ambas doenças infecciosas transmitidas pela água de consumo contaminada, explique o seguinte:

- I — Por que uma das medidas profiláticas contra a cólera consiste em usar água de consumo filtrada e, contra a hepatite A, essa medida não tem o menor valor?
- II — Qual seria a sua opção, se você tivesse que escolher um único método para tratar a água de consumo para evitar ambas as doenças ao mesmo tempo?
- III — Por que a água de uma cisterna construída próxima a uma fossa séptica, numa região endêmica dessas doenças, seria uma provável fonte de disseminação da cólera e da hepatite A?



Reino Protista

1. Introdução

O termo **protista** deriva do grego e significa “primeiro de todos”, refletindo a idéia de que eles teriam sido os primeiros eucariontes a surgir no curso da evolução.

Nos capítulos 1 e 12 já comentamos sobre os problemas para se definir protista e vimos que há pouca concordância entre os diferentes pesquisadores sobre a validade e a definição desse reino.

Neste momento preferimos adotar por simplificação o Reino Protista como válido, incluindo nele os **protozoários** e as **algas**.

O termo **protozoário** deriva do grego e significa “primeiro animal”. Esse termo foi criado há muitos anos para organismos eucariontes unicelulares, heterótrofos e com capacidade de deslocamento. Os protozoários estavam incluídos no filo

Protozoa dentro do Reino Animal, época em que ainda se falava em animais unicelulares.

Atualmente, emprega-se o termo protozoário como uma designação coletiva, sem valor taxonômico, para unicelulares eucariontes heterótrofos, que obtêm seus alimentos por ingestão ou absorção.

O termo **alga** é também empregado como uma designação coletiva, sem valor taxonômico, para seres fotossintetizantes que vivem em ambiente aquático ou terrestre úmido e que não apresentam organização complexa do corpo, podendo ser uni ou multicelulares sem tecidos verdadeiros.

Vamos comentar primeiramente os protozoários, analisando os diferentes grupos e os protozoários parasitas do ser humano, e depois as algas.

2. Os grupos de protozoários

A classificação dos protozoários também mudou muito atualmente, e os tradicionais quatro filos definidos com base na presença e no tipo de estrutura empregada na locomoção não são mais válidos. Hoje se consideram cerca de dezesseis filos, cujas relações filogenéticas ainda não estão bem compreendidas. Em função da complexa caracterização desses filos, feita com base na comparação entre seqüências de bases nitrogenadas do RNA e do DNA e em detalhes da ultra-estrutura celular (observada ao microscópio eletrônico), preferimos tratar os protozoários em quatro grupos, que não chamaremos de filos.

Esses grupos são:

- **protozoários amebóides** — deslocam-se ou capturam alimento por meio de pseudópodes (*pseudo* = falso; *podos* = pés); são cerca de cinco filos, com origens bastante distintas e que não devem ser considerados dentro de um único filo, como na proposta tradicional, em que eram tratados dentro do filo Sarcodina;
- **protozoários flagelados** — deslocam-se ou obtêm alimento por meio de flagelos; são cerca de oito filos, antigamente tratados como um único — o

filo Flagellata ou Mastigophora (*mastix* = flagelo; *phoros* = portador) —, o que não é mais aceito;

- **protozoários ciliados** — que se deslocam ou obtêm alimento por meio de cílios; esse é o único grupo que se mantém igual à classificação tradicional, pois todos os ciliados pertencem a um único filo, o Ciliophora;
- **protozoários esporozoários** — não possuem estruturas especiais para o deslocamento, como pseudópodes, cílios e flagelos, mas podem se deslocar no meio por flexões do corpo ou por deslizamento; obtêm alimento principalmente por absorção ou pinocitose; são dois filos, que na classificação antiga eram tratados dentro de um único, o filo Sporozoa.

2.1. Protozoários amebóides

Os amebóides podem ser encontrados em água doce, solos úmidos e mares. Algumas espécies são parasitas, inclusive do ser humano, como é o caso da *Entamoeba histolytica*, que causa a disenteria amebiana, e da *Entamoeba gingivalis*, uma das causadoras de gengivite.

Para falarmos dos amebóides de vida livre, tomaremos como exemplo uma espécie de ameba de água doce, *Amoeba proteus*, cuja célula chega a atingir 0,5 mm de diâmetro.



Esquema de uma ameba feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia). Mede cerca de 0,5 mm de diâmetro.

As amebas locomovem-se por meio de pseudópodos (movimento amebóide), que também são empregados na captura de alimento por fagocitose. Esses organismos se alimentam de pequenos protozoários, fungos e algas, e também de protoplasma morto, sendo digeridos intracelularmente.

As amebas de água doce possuem vacúolos contráteis ou pulsáteis que, de tempos em tempos, eliminam o excesso de água que penetra nelas por osmose.

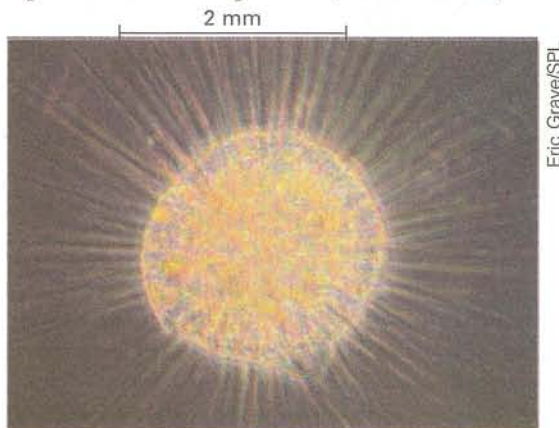
O tipo de reprodução mais comum entre os amebóides é a divisão binária. Nessa forma de reprodução assexuada a célula divide-se ao meio, dando origem a duas células-filhas com a mesma informação genética da célula-mãe.

Além das amebas, são protistas amebóides os **heliozoários**, os **radiolários** e os **foraminíferos**, que pertencem a outros filos.

Heliozoários e radiolários possuem pseudópodos longos, eretos e finos, com os quais capturam alimento constituído de outros protistas e mesmo de animais pequenos.

Os **heliozoários** (*helio* = sol; *zoário* = animal) são

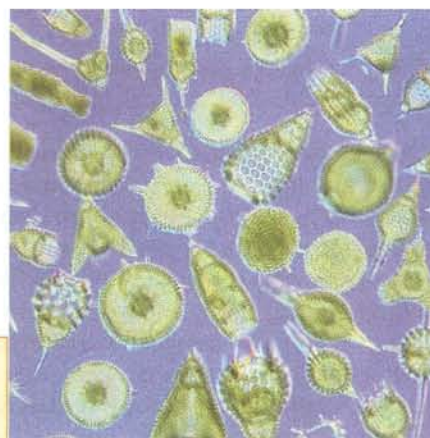
comuns em água doce, onde vivem apoiados no fundo ou em raízes de plantas aquáticas, como o aguapé. A maioria não possui esqueleto, mas algumas espécies apresentam exoesqueleto (*exo* = externo).



Micrografia de heliozoário: os "raios" que partem da célula são pseudópodos longos e de extremidade afilada. Alguns podem ser visíveis a olho nu.

Os **radiolários** possuem endoesqueleto (*endo* = interno) de sílica e são comuns no zooplâncton marinho.

De aspecto vítreo e com formas geométricas muito variadas, o endoesqueleto dos radiolários apresenta complexidade e beleza impressionantes, como mostra a foto a seguir.



Micrografia de endoesqueletos de sílica de diferentes espécies de radiolários. Podem medir de 30 µm a 2 mm de diâmetro, dependendo da espécie.

Plâncton

O plâncton corresponde a um conjunto de seres que vivem em suspensão na água dos rios, lagos e oceanos, carregados passivamente pelas ondas e correntes. No plâncton, distinguem-se dois grupos de organismos:

- **fitoplâncton** — organismos que realizam fotossíntese;
- **zooplâncton** — organismos heterótrofos, representados principalmente por protozoários, pequenos crustáceos e larvas de muitos invertebrados e de peixes.

Os **foraminíferos** são protistas amebóides comuns especialmente no sedimento marinho, embora existam espécies que vivam em suspensão na água, fazendo parte do zooplâncton. Possuem exoesqueleto de carbonato de cálcio ou formado pela aglutinação de areia, espículas de esponjas ou outros materiais

inorgânicos. Apresentam um tipo especial de pseudópode, que é fino e ramificado, formando uma espécie de trama com a qual capturam pequenos organismos dos quais se alimentam.



Carolina Biological Supply Company/Photolake

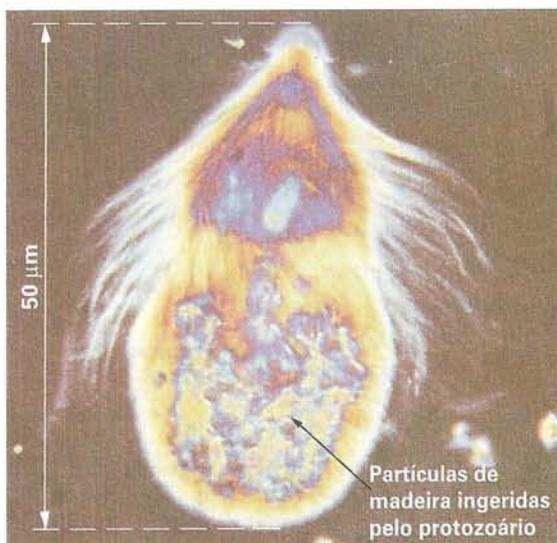
Micrografia de carapaça de carbonato de cálcio de um foraminífero planctônico. Mede cerca de 1 mm de diâmetro.

2.2. Protozoários flagelados

Os flagelados possuem um ou mais flagelos, empregados na locomoção e também na captura de alimento.

A reprodução dos flagelados é, na maioria dos casos, assexuada por divisão binária longitudinal.

Os flagelados podem ter vida livre, ocorrendo em ambiente aquático. Existem também flagelados parasitas, inclusive da espécie humana. Certas espécies podem viver em associação mutualística com outros organismos, como é o caso de flagelados do gênero *Trichonympha*, que vivem no intestino de cupins e de baratas comedoras de madeira, digerindo a celulose que esses animais não conseguem digerir sozinhos.



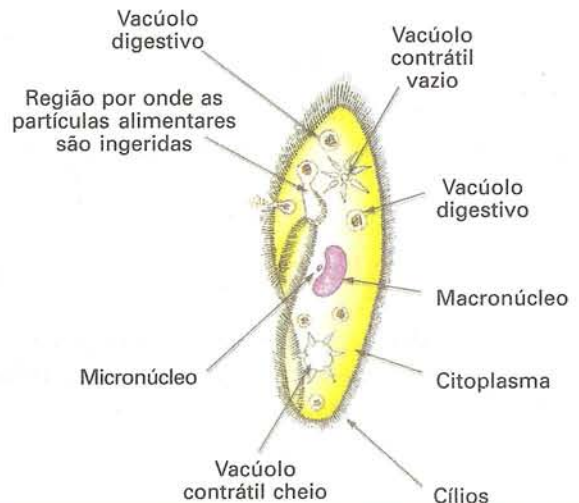
Cedoc

Micrografia de *Trichonympha*, um flagelado.

2.3. Protozoários ciliados

Os ciliados são protozoários dotados de cílios, estruturas utilizadas na locomoção e na captura de alimento.

Como exemplo de ciliado, vamos estudar o *Paramecium* (paramécio), protozoário de vida livre, muito comum em lagoas, tanques e poças de água doce.



Esquema de paramécio feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia). Mede de 150 a 300 µm de comprimento. Os cílios recobrem toda a célula.

No paramécio, a ingestão de alimento ocorre através do **citóstoma** (*cito* = célula; *stoma* = boca), que tem localização constante na célula. No interior do citoplasma formam-se os vacúolos digestivos, que se desprendem e circulam pelo interior da célula movidos pelas correntes citoplasmáticas, distribuindo o alimento digerido. Os restos não-aproveitáveis são eliminados através de uma região específica da célula, denominada **citopígeo** ou **citoprocto**.

No citoplasma do paramécio existem, além das organelas responsáveis pelas funções vitais, os vacúolos contráteis, cuja função é a regulação osmótica da célula.

Outra característica dos paramécios e dos ciliados em geral é a presença de dois tipos distintos de núcleo: um deles, denominado **macronúcleo**, é grande, regula as atividades do metabolismo celular e participa da reprodução assexuada; o outro, denominado **micronúcleo**, é pequeno e participa apenas dos processos de reprodução, tanto na sexuada como na assexuada.

A reprodução assexuada ocorre por divisão binária transversal, e a sexuada, por conjugação.

Na conjugação, dois indivíduos se unem, o macronúcleo sofre degeneração e o micronúcleo sofre meiose. Há troca e fusão de micronúcleos entre os indivíduos conjugantes. Nesse tipo de reprodução não há formação de gametas.

2.4. Protozoários esporozoários

Os esporozoários são protozoários parasitas caracterizados pela ausência de estruturas empregadas na locomoção. Eles obtêm seus alimentos por absorção direta dos nutrientes dos organismos que parasitam.

Nos ciclos de vida desses parasitas ocorre um tipo de reprodução típica do grupo: a **esporogonia**. Esse tipo de reprodução ocorre logo após a formação do zigoto. Este sofre geralmente um encistamento e uma divisão meiótica, dando origem a quatro **esporozoítos** haplóides. Essas células multiplicam-se por mitoses sucessivas, dando origem a muitos outros esporozoítos, que, finalmente, são eliminados do cisto.



Esquema de esporogonia feito com base em observações ao microscópio de luz, com estruturas internas ao cisto vistas por transparência. Um esporozoíto chega a medir cerca de 15 µm de comprimento. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

3. Os protozoários e a saúde humana

Várias são as doenças provocadas por protozoários. Vamos comentar algumas de importância no Brasil.

3.1. Malária

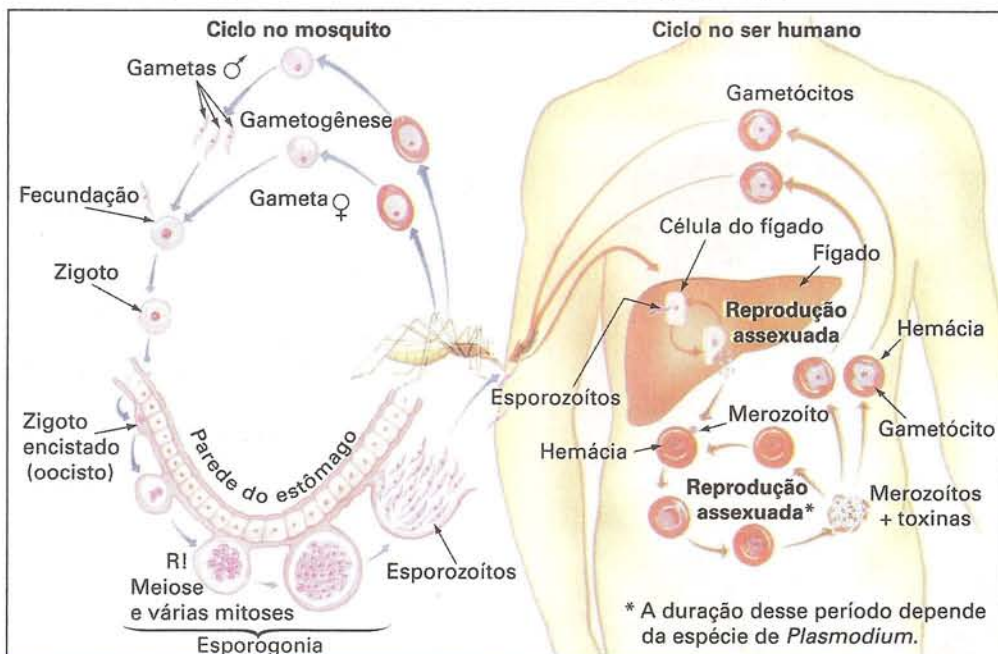
Um importante exemplo de protozoário parasita do ser humano está representado pelo gênero *Plasmodium* (plasmódio), esporozoário causador da **malária**, também chamada **maleita** ou **febre intermitente**.

A malária afeta milhões de pessoas em todo o mundo, especialmente em regiões tropicais. É transmitida ao ser humano pela picada de fêmeas do

mosquito do gênero *Anopheles*, conhecido popularmente por diversos nomes, como carapanã e mosquito-prego. Somente as fêmeas são hematófagas, pois necessitam de sangue principalmente para o desenvolvimento de seus óvulos.

Esse gênero compreende cerca de quatrocentas espécies, das quais apenas um reduzido número tem importância para a epidemiologia da malária, em cada região. No Brasil, cinco espécies são consideradas vetores principais: *Anopheles darlingi*, *Anopheles aquasalis*, *Anopheles albitarsis*, *Anopheles cruzi* e *Anopheles bellator*.

Analise a figura a seguir, que descreve o ciclo de vida do plasmódio.



Esquema do ciclo de vida de plasmódio no ser humano e no mosquito (as estruturas deste ciclo estão destacadas e ampliadas em diferentes proporções; cores-fantasia).

A malária é uma doença caracterizada por acessos febris cíclicos. Na liberação dos merozoítos das hemácias são liberados também resíduos tóxicos, que provocam a febre.

Existem três espécies de *Plasmodium* no Brasil:

- *Plasmodium vivax* — acessos febris de 48 em 48 horas (febre terçã benigna);
- *Plasmodium malariae* — acessos febris de 72 em 72 horas (febre quartã);
- *Plasmodium falciparum* — acessos febris irregulares, de 36 a 48 horas (febre terçã maligna, pois as hemácias parasitadas aglutinam-se, provocando obstrução de vasos, podendo levar o indivíduo à morte).

O ciclo de vida do plasmódio só se completa se houver dois hospedeiros: o mosquito do gênero *Anopheles* e o ser humano.

O hospedeiro no qual ocorre a reprodução sexuada do parasita é denominado **hospedeiro definitivo**. O hospedeiro no qual ocorre apenas a reprodução assexuada do parasita é denominado **hospedeiro intermediário**. Assim, no caso do *Plasmodium*, o mosquito é o hospedeiro definitivo e o ser humano, o intermediário.

Além dessa via de transmissão da malária existem outras que não envolvem o inseto, como transfusões de sangue em que é utilizado, de forma indevida, sangue contaminado pelo parasita.

Algumas formas de realizar a profilaxia da malária, quando a transmissão ocorre por meio do inseto, são:

- eliminar criadouros do inseto vetor, o que pode ser feito evitando-se deixar água acumulada, pois esse inseto coloca seus ovos na água, eclodindo uma larva aquática, que só depois da metamorfose passa a viver em ambiente aéreo;
- usar larvicidas e inseticidas para o combate ao inseto;
- proteger portas e janelas com telas para evitar que o mosquito entre em casa, assim como usar mosquiteiro nas camas;
- usar repelentes especialmente nos horários em que há mais mosquitos, como o amanhecer e o anoitecer.

3.2. Outras doenças

A tabela a seguir apresenta um resumo de algumas outras doenças humanas causadas por protozoários.

Balantidiose (disenteria)

- **Agente etiológico:** *Balantidium coli* (ciliado).
- **Características:** lesões no intestino grosso que provocam diarreia com sangue nas fezes, de modo semelhante ao que ocorre na disenteria amebiana.
- **Modo de transmissão:** ingestão de alimentos ou de água contaminados por fezes que contenham cistos do ciliado.
- **Medidas profiláticas:** implementar saneamento básico e medidas de higiene. Tratar os doentes.

Disenteria amebiana (amebíase)

- **Agente etiológico:** *Entamoeba histolytica* (amebóide).
- **Características:** diarreias intensas, com muco e sangue.
- **Modo de transmissão:** ingestão de alimentos ou de água contaminados por fezes que contenham cistos do parasita.
- **Medidas profiláticas:** implementar saneamento básico, além de medidas de higiene pessoal, como beber água filtrada e/ou fervida e lavar bem frutas e verduras antes de ingeri-las. Tratar os doentes.

Doença de Chagas

- **Agente etiológico:** *Trypanosoma cruzi* (flagelado).
- **Características:** hipertrofia de órgãos afetados pelo parasita, principalmente a do coração.
- **Modos de transmissão:** os principais transmissores são insetos da espécie *Triatoma infestans*, vulgarmente conhecidos por **barbeiro** ou **chupança**; ao picar uma pessoa, esses insetos defecam, e em suas fezes estão as formas infectantes do parasita. Ao coçar o local da picada, a pessoa facilita a penetração do parasita através da pele, ou contamina suas mãos e, ao levá-las à boca ou aos olhos, propicia a entrada do parasita através desses órgãos. Outra forma de transmissão pode ser a transfusão de sangue contaminado pelo parasita.
- **Medidas profiláticas:** tratar os doentes; impedir a proliferação do barbeiro; usar telas em portas e janelas e mosquiteiro nas camas; exigir cuidados nas transfusões de sangue para que não seja usado sangue contaminado.

Giardíase

- **Agente etiológico:** *Giardia lamblia* (flagelado).
- **Características:** afeta principalmente o intestino delgado, provocando diarreia e dores abdominais.
- **Modo de transmissão:** ingestão de alimentos ou água contaminados com fezes que contenham cistos do flagelado.
- **Medidas profiláticas:** implementar saneamento básico e medidas de higiene; tratar os doentes.

Leishmaniose visceral americana ou calazar

- **Agente etiológico:** *Leishmania chagasi* (flagelado).
- **Características:** lesões no baço, fígado, rins e intestinos.
- **Modo de transmissão:** picada de insetos flebótomos.
- **Medidas profiláticas:** combater o vetor; tratar os doentes.

Toxoplasmose

- **Agente etiológico:** *Toxoplasma gondii* (esporozoário).
- **Características:** doença geralmente assintomática, mas em alguns casos pode causar cegueira; é grave em gestantes, pois o parasita pode passar para o feto, afetando seu sistema nervoso.
- **Modos de transmissão:** ingestão de cistos do parasita presentes nas fezes de gatos, que são os hospedeiros naturais do toxoplasma, e ingestão de carne crua ou malcozida contaminada pelo parasita.
- **Medidas profiláticas:** adotar medidas higiênicas básicas e cuidados especiais para evitar a contaminação ao lidar com animais, principalmente gatos, e só ingerir carnes bem-cozidas.

Tricomoníase

- **Agente etiológico:** *Trichomonas vaginalis* (flagelado).
- **Características:** afeta o sistema genital; nos homens

causa infecções uretrais e nas mulheres, infecções vaginais.

- **Modo de transmissão:** contato sexual com portador desse flagelado; uso de sanitários e banheiras sem condições de higiene; uso de toalhas úmidas contaminadas pelo flagelado.
- **Medidas profiláticas:** usar camisinha nas relações sexuais; não usar toalhas de outras pessoas se não estiverem adequadamente lavadas; tomar cuidados especiais ao utilizar sanitários sem condições de higiene; tratar os doentes.

Úlcera de Bauru ou Leishmaniose de pele

- **Agente etiológico:** *Leishmania brasiliensis* (flagelado).
- **Características:** ulcerações graves na pele.
- **Modo de transmissão:** picada do mosquito-palha ou birigüi (flebotomos).
- **Medidas profiláticas:** combater o vetor; tratar os doentes.

4. Algas

Vamos estudar alguns dos grupos de algas, adotando uma classificação bastante simplificada: **Euglenophyta** (euglenas), **Dinophyta** (dinoflagelados), **Bacillariophyta** (diatomáceas), **Phaeophyta** (algas pardas), **Rhodophyta** (algas vermelhas) e **Chlorophyta** (algas verdes).

Dentre as características tradicionalmente consideradas importantes na classificação das algas, incluem-se os tipos de pigmentos fotossintetizantes e os tipos de substâncias de reserva presentes nas células das algas. A tabela a seguir apresenta um resumo em que se destacam o grupo de algas e seus respectivos tipos de pigmentos e de substância de reserva.

Filo	Pigmentos fotossintetizantes	Substância de reserva
Euglenophyta	Clorofilas a, b; carotenóides	Paramilo (carboidrato semelhante ao amido)
Dinophyta	Clorofilas a, c; carotenóides, principalmente peridina (cor marrom-avermelhada)	Amido
Bacillariophyta	Clorofilas a, c; carotenóides, principalmente fucoxantina (pigmento marrom)	Crisolaminarina
Phaeophyta	Clorofilas a, c; carotenóides, com predomínio de fucoxantina	Laminarina e manitol
Rhodophyta	Clorofilas a, d; carotenóides e ficoeritrina (pigmento vermelho)	Amido das florídeas
Chlorophyta	Clorofilas a, b; carotenóides e xantofilas	Amido

Por serem fotossintetizantes, as algas são importantes na produção de oxigênio para os ecossistemas. Além disso, constituem a base da alimentação de animais aquáticos e algumas espécies são também utilizadas na alimentação humana.

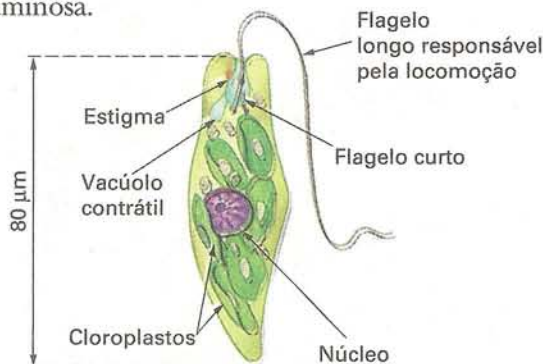
Certas espécies de algas produzem grande quantidade de substâncias utilizadas comercialmente. É o caso dos **alginatos**, substâncias viscosas produzidas por certas espécies de algas pardas, que são usados na fabricação de papel e como estabilizadores em cremes dentais e sorvetes.

Outros exemplos são o **ágar** e a **carragenina** (carragena ou carragenana), encontrados em certas espécies de algas vermelhas e usados para finalidades diversas: na indústria farmacêutica, na fabricação de cosméticos e de gelatinas, no preparo de meios de cultura para bactérias, e como emulsionante, estabilizante e espessante em alimentos.

4.1. Euglenophyta

O gênero *Euglena* (euglena) é o mais representativo desse filo, e dele derivou o nome Euglenophyta. As euglenas são unicelulares fotossintetizantes, possuem dois flagelos e reproduzem-se assexuadamente por divisão binária longitudinal. São encontradas tanto em água doce quanto em ambiente marinho. Pos-

suem uma estrutura denominada **estigma**, utilizada nos mecanismos de orientação em direção a uma fonte luminosa.



Esquema de euglena feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Dentre os Euglenophyta existem representantes que são aclorofilados e, portanto, sempre heterótrofos. Existem, no entanto, representantes clorofilados que, se mantidos no escuro, perdem os cloroplastos e passam a ter nutrição heterotrófica; se colocados na presença de luz, podem formar novamente cloroplastos e passam a realizar fotossíntese.

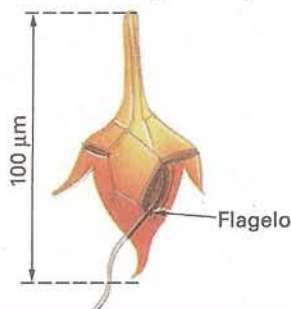
4.2. Dinophyta

Esse filo também é denominado *Pyrrophyta*, termo que significa “algas de fogo”, por serem avermelhadas. Compreende os **dinoflagelados**, organismos unicelulares com representantes fotossintetizantes e representantes heterótrofos.

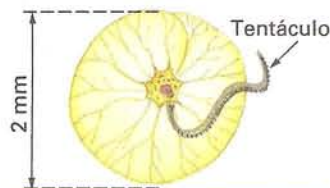
A maioria dos dinoflagelados vive no mar, mas existem algumas espécies de água doce.

Os dinoflagelados possuem **endoesqueleto** (esqueleto interno) especial, formado por vesículas achatadas localizadas próximo à face interna da membrana plasmática. No interior dessas vesículas pode haver depósito de celulose, que muitas vezes é espesso.

Os dinoflagelados geralmente têm dois flagelos, e a diversidade de formas no grupo é muito grande. Como exemplo, podemos citar dois gêneros muito comuns no plâncton marinho: *Ceratium* e *Noctiluca*, sendo este último um dos responsáveis pela bioluminescência observada nas águas superficiais do mar.



Esquema de *Ceratium* feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).



Esquema de *Noctiluca* feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Dentre os dinoflagelados existem formas tóxicas, como a espécie *Gonyaulax catenella*, que podem provocar um fenômeno conhecido por **maré vermelha**: sob determinadas condições ambientais, ocorre intensa proliferação desses dinoflagelados tóxicos, formando extensas manchas de cor geralmente avermelhada na superfície do mar e causando grande mortalidade de peixes e de outros animais marinhos.

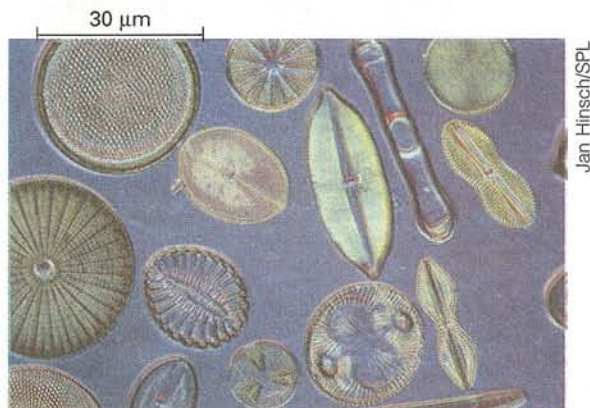
Além disso, alguns animais filtradores, como a ostra e outros bivalves, podem ser contaminados pelas toxinas desses dinoflagelados, que permanecem acumuladas em seus tecidos. Se os animais contaminados forem consumidos pelo ser humano ou por qualquer outro vertebrado, a toxina pode causar distúrbios de gravidade variável dependendo da sua concentração.

Os dinoflagelados reproduzem-se assexuadamente por divisão binária, mas ocorre também reprodução sexuada com formação de gametas.

4.3. Bacillariophyta

Filo representado pelas **diatomáceas**, muito comuns no plâncton marinho.

As células das diatomáceas possuem parede celular rígida, denominada **frústula** ou **carapaça**, impregnada de compostos de sílica. Essa parede não contém celulose. A frústula é composta de duas valvas que se encaixam e podem apresentar grande diversidade de formas e de ornamentação.



Micrografia de frústulas ou carapaças de diatomáceas.

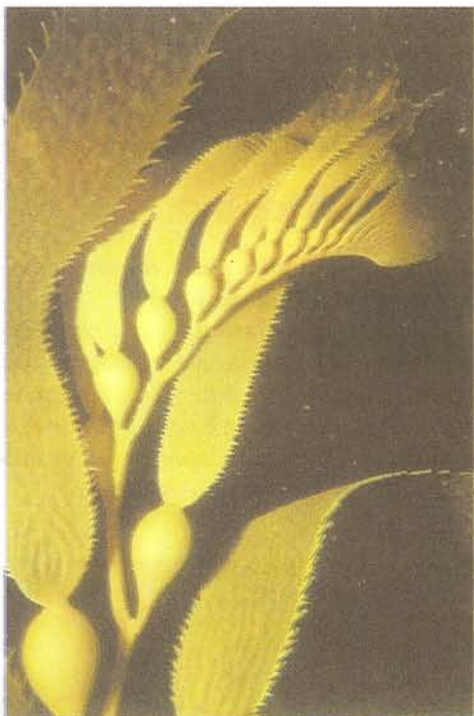
As diatomáceas são unicelulares, podendo formar colônias. Existem depósitos seculares dessas carapaças, denominados **terra de diatomáceas** ou **diatomito**, que em algumas regiões atingem grandes proporções e são explorados comercialmente. Essas carapaças são utilizadas, por exemplo, na fabricação de cosméticos, filtros e produtos de polimento.

As diatomáceas não possuem cílios nem flagelos, mas algumas espécies podem apresentar deslocamento por deslizamento, utilizando um mecanismo que envolve a eliminação de uma secreção.

A reprodução das diatomáceas pode ser assexuada, por divisão binária, ou sexuada, através da formação de gametas.

4.4. Phaeophyta

Esse filo compreende as **algas pardas**. Dentre elas existem representantes de grande porte, com cerca de 60 m de comprimento, conhecidos por *kelps*, que chegam a formar extensas “florestas aquáticas” nas costas frias e temperadas dos continentes.



Luciano Candisani

Fotografia de *Macrocystis*: alga parda de grande porte, que chega até 60 m de comprimento. Possui estruturas cheias de gás que facilitam a flutuação. É comum no oceano Pacífico.

No Brasil, as algas pardas de grande porte chegam a 4 m de comprimento e ocorrem no litoral do Espírito Santo.

Outros exemplos de algas pardas comuns no Brasil são *Sargassum* e *Padina*.



Luciano Candisani

Fotografia de algas pardas comuns no litoral brasileiro: *Padina* (mais evidente na foto, com aspecto laminar) e *Sargassum* (com aspecto mais ramificado). A *Padina* possui depósitos de carbonato de cálcio na parede celular e o *Sargassum* possui estruturas vesiculares contendo gases no interior.

4.5. Rhodophyta

Esse filo compreende as **algas vermelhas**, muito comuns nos mares.

Certas espécies de algas vermelhas são usadas na alimentação humana, como é o caso da nori (*Porphyra*), utilizada principalmente no preparo de *sushi*, prato típico da culinária japonesa. Essa alga tem sido usada também para combater o escorbuto, graças a seu alto teor de vitamina C.

4.6. Chlorophyta

Esse filo é representado pelas **clorofíceas** ou **algas verdes**, que podem ser uni ou multicelulares.

São principalmente aquáticas, podendo ocorrer também em locais úmidos, sobre rochas e troncos de árvores. Uma alga verde muito comum no litoral brasileiro é a *Ulva*, conhecida popularmente por alface-do-mar.



Jacqui Hurst/Corbis

Fotografia de alface-do-mar: ocorre em todo o litoral brasileiro, aderida a rochas (cerca de 6 cm de comprimento).

5. Reprodução e ciclo de vida nas algas pardas, vermelhas e verdes

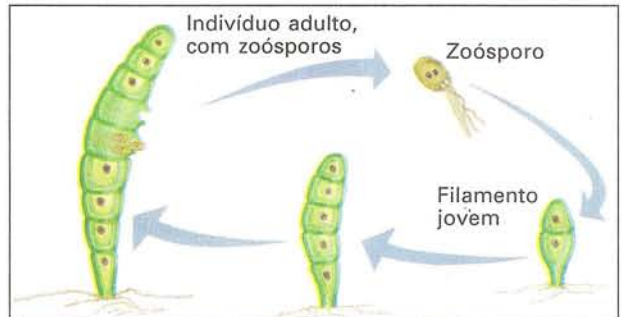
Nesses três grupos de algas a reprodução pode ser assexuada ou sexuada.

A reprodução **assexuada** pode ocorrer por bipartição nas algas unicelulares e por fragmentação ou esporulação nas algas multicelulares.

A reprodução por **fragmentação** ocorre na generalidade das algas, quando uma porção é separada do corpo e esta dá origem a um novo indivíduo.

Na reprodução por **esporulação** há formação de **esporos**, células especializadas que, ao serem liberadas do corpo do indivíduo que as produziu, têm a capacidade de se desenvolver diretamente em um novo indivíduo.

Como exemplo de algas nas quais ocorre esporulação temos as algas verdes filamentosas do gênero *Ulothrix*, que vivem presas ao substrato. Nelas, determinadas células sofrem diferenciação, originando por mitose esporos flagelados (**zoósporos**), que são liberados. Estes nadam livremente e, ao encontrarem substrato adequado, geram um novo indivíduo.



Esquema de reprodução assexuada em *Ulothrix*, alga verde filamentosa. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

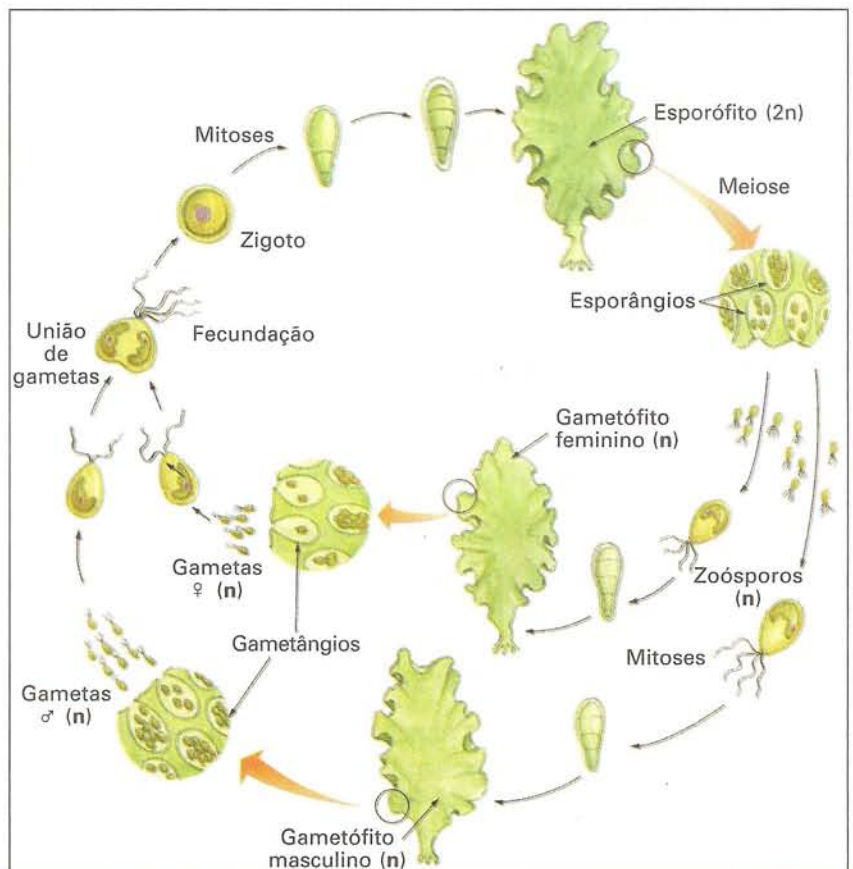
Na reprodução **sexuada** ocorre formação de gametas.

Nas algas existem os três tipos de ciclo de vida que são caracterizados pelo momento em que ocorre a meiose (descritos no capítulo 8): **ciclo haplonte**, **ciclo diplonte** e **ciclo haplonte-diplonte**. Neste último caso, verifica-se alternância de gerações: os indivíduos diplóides formam por meiose células haplóides, que se diferenciam em esporos e são chamados **esporófitos**; os esporos originam indivíduos haplóides, os **gametófitos**, que formam gametas.

O ciclo de vida com alternância de gerações ocorre em muitas espécies de algas e foi o tipo de ciclo que permaneceu nas plantas (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas).

Nas algas que possuem alternância de gerações, as fases gametofítica e esporofítica podem ser igualmente bem desenvolvidas e independentes uma da outra, sendo que em alguns casos não há diferenças morfológicas entre indivíduos diplóides e haplóides, a não ser em suas estruturas reprodutoras. Já em outros casos as diferenças entre as fases gametofítica e esporofítica são muito grandes.

Como exemplo de ciclo de vida de algas, vamos analisar o da alface-do-mar (gênero *Ulva*), em que a geração gametofítica é morfológicamente semelhante à esporofítica, não sendo possível diferenciá-las pelo aspecto externo do corpo. Observe na figura ao lado a descrição do ciclo de vida da *Ulva*.

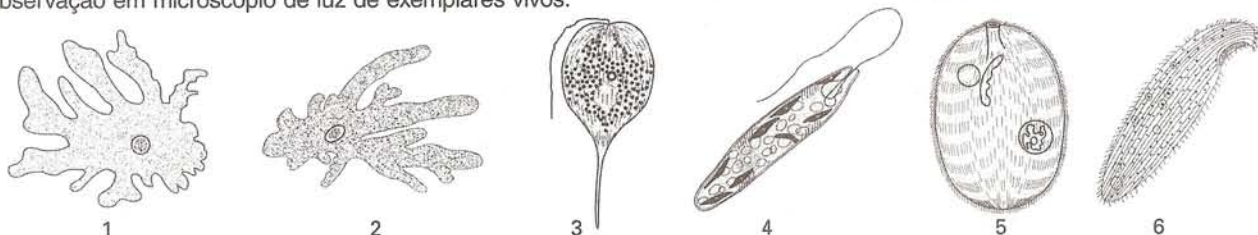


Esquema do ciclo de vida haplonte-diplonte de *Ulva*, uma alga verde membranosa. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia, exceto no esporófito e nos gametófitos.)



QUESTÕES PARA ESTUDO

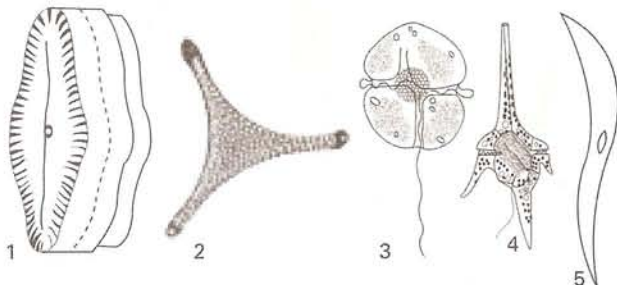
1. Em uma amostra de água coletada em um lago foram encontrados os seguintes organismos, desenhados a partir da observação em microscópio de luz de exemplares vivos:



(Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Analise esses desenhos, classifique esses organismos nos grupos discutidos no presente capítulo e justifique sua classificação.

2. Em um laboratório de pesquisa em que se estuda fitoplâncton, um estagiário analisou ao microscópio de luz uma amostra de água e encontrou vários protistas. Ele desenhoun alguns deles e levou ao pesquisador para confirmar suas observações. Ao analisar os desenhos do estagiário, que reproduzimos a seguir, o pesquisador constatou que um dos organismos ali representados não poderia jamais ter sido encontrado em uma amostra de fitoplâncton. Analise os desenhos, diga qual é esse organismo e justifique sua resposta. Diga também a quais grupos pertencem todos os organismos representados.



(Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

3. Construa uma tabela com os protistas parasitas do ser humano, classificando-os em amebóides, flagelados, ciliados e esporozoários.

4. Analise a transmissão das diferentes doenças humanas causadas por vírus, bactérias e protistas e redija um texto sobre a importância do conhecimento dos ciclos de vida desses parasitas.

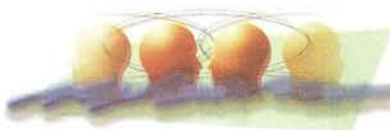
5. Explique o que é maré vermelha e cite o principal grupo de protistas responsável por esse fenômeno.

6. Faça uma tabela como esquematizado a seguir, com os diferentes filios de algas analisados neste capítulo, mencionando os tipos de pigmento e a substância de reserva.

Filo de alga	Pigmentos fotossintetizantes	Reserva de carboidrato

7. Explique com esquemas os três tipos de vida que podem ocorrer nas algas multicelulares.

8. Com base nas informações desse capítulo e em outras fontes de consulta, redija um texto que aborde a importância ecológica, econômica e médica das algas.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Malária: sério problema de saúde pública

Em 1999, a população das Américas passava de 818 milhões de habitantes, dos quais quase 299 milhões (36,5%) viviam em zonas com condições ecológicas propícias para a transmissão da malária. Dos 35 países e territórios membros da Organização Pan-americana de Saúde, 21 apresentam zonas com transmissão ativa da doença. Todos eles (Argentina, Belize, Bolívia, Bra-

sil, Colômbia, Costa Rica, Equador, El Salvador, Guiana Francesa, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Suriname e Venezuela) redefiniram seus programas de controle à doença de acordo com o que foi delineado pela Estratégia Mundial para o Controle da Malária (EMCM), definida em Amsterdã em 1992.

A Estratégia Global representou uma mudança de ênfase, abandonando o enfoque tradicional, que visava apenas à luta antivetorial (ou seja, erradicar o inseto transmissor que é o vetor da doença), para centrar-se no manejo da ocorrência da enfermidade.

A EMCM baseia-se em quatro princípios técnicos:

1. diagnóstico rápido e tratamento imediato;
2. aplicação de medidas de proteção e prevenção para o indivíduo, a família e a comunidade, incluindo-se aí a luta antivetorial;
3. desenvolvimento da capacidade para prever e conter as epidemias desde o princípio;
4. fortalecimento da capacidade local em investigação básica e aplicada para permitir e promover a avaliação regular da situação da malária em um país, tendo em conta os fatores ecológicos, sociais e econômicos que determinam a enfermidade.

Como primeiro passo na adoção da EMCM, os países das Américas redefiniram suas zonas maláricas sobre a base de distintos níveis de exposição ao risco de transmissão. O risco de exposição, dentro de uma zona ecologicamente propícia, está relacionado com fatores como os deslocamentos, a estabilidade social, as atitudes e comportamentos individuais e coletivos que promovem a disseminação da malária. A intensidade de transmissão da doença, produto da inter-relação destes fatores, reflete-se no índice parasitário

anual (IPA) e pode ser modificada pelo acesso a serviços de diagnóstico e tratamento adequados. Este índice é a variável básica usada para a estratificação epidemiológica da malária endêmica.

No Brasil, a transmissão da malária está basicamente restrita à Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins). Nos estados do Sudeste e do Sul a transmissão é esporádica.

Pessoas que viajam para as áreas de risco devem procurar serviços de saúde para avaliar a possibilidade do uso de medicamentos antimaláricos preventivos (quimioprofilaxia). A seleção das drogas para o esquema profilático mais adequado a determinada área depende do grau do risco existente, das espécies de *Plasmodium* predominantes e da sua resistência às drogas, além do risco de efeitos colaterais.

A quimioprofilaxia em geral deve ser iniciada uma semana antes da entrada em área de transmissão, para a detecção de possíveis efeitos colaterais, e mantida por quatro semanas após o retorno.

Não obstante todas as medidas de prevenção, inclusive a utilização de medicamentos profiláticos, a malária pode ser contraída. Deve-se lembrar que a quimioprofilaxia pode prolongar o período de incubação da malária por muitos meses.

Adaptado de: Organização Pan-Americana de Saúde, *Boletim epidemiológico*, vol. 22, nº 1, mar. 2001.

- Faça uma pesquisa sobre a incidência de doenças causadas por protozoários na cidade onde você mora. Com base nas informações obtidas, compare com os dados da situação em seu estado e procure saber quais medidas preventivas têm sido adotadas.



TESTES

1. (UFMA) Em protozoários de vida livre, como na *Amoeba proteus*, existe o vacúolo contrátil, cuja função é a:

- a) eliminação do excesso de água.
- b) locomoção.
- c) digestão de microcrustáceos.
- d) absorção de água.
- e) emissão de pseudópodos.

2. (UNI-RIO) "Uma descrição sucinta do *Triatoma* (vulgarmente conhecido como chupança ou barbeiro) diria que é um inseto com perto de 2 centímetros de comprimento, asas achatadas, largas e listradas nas bordas, não muito dife-

rente de uma barata doméstica comum, mas com um ferrão comprido. Ao contrário da barata, porém, é hematófago. O pior de tudo é que além de chupar o sangue das pessoas, defeca ao mesmo tempo. E é pelas fezes que transmite a moléstia."

(De Cicco)

O texto acima se refere ao hospedeiro intermediário da:

- a) malária.
- b) ancilostomose.
- c) esquistossomose.
- d) úlcera de Bauru.
- e) doença de Chagas.

3. (UEL-PR) Protozoários podem causar diversas doenças ao homem. Nas alternativas abaixo, identifique aquela em que o protozoário, seu agente transmissor e a doença causada estão corretamente relacionados:

- a) *Trypanosoma cruzi*, triatomídeo, doença de Chagas.
- b) *Leishmania brasiliensis*, contato com água, leishmaniose.
- c) *Entamoeba histolytica*, contato com água, amarelão.
- d) *Plasmodium vivax*, barbeiro, malária.
- e) *Plasmodium falciparum*, barbeiro, doença de Chagas.

4. (Unesp-SP) Uma determinada moléstia que pode causar lesões nas mucosas, pele e cartilagens é transmitida por um artrópode e causada por um protozoário flagelado. Os nomes da doença, do artrópode transmissor e do agente causador são, respectivamente:

- a) leishmaniose, mosquito anófeles e *Leishmania brasiliensis*.
- b) úlcera de Bauru, mosquito cúlex e *Plasmodium vivax*.
- c) doença-do-sono, mosca tsé-tsé e *Trypanosoma cruzi*.
- d) doença de Chagas, barbeiro e *Trypanosoma gambiensi*.
- e) úlcera de Bauru, mosquito flebótomo e *Leishmania brasiliensis*.

5. (UFRS) Leia o texto abaixo.

No Rio Grande do Sul, o índice de toxoplasmose na população é alarmante, destacando-se as lesões oftálmicas e as malformações fetais causadas por esta doença. Além da contaminação através de animais domésticos, principalmente do gato, o homem pode adquirir a doença por meio da ingestão de linguiças e carnes mal cozidas que estejam contaminadas. Já a leptospirose é uma zoonose causada por roedores, podendo o homem ser infectado ao entrar em contato com a urina dos ratos.

Indique a alternativa que apresenta, respectivamente, os agentes causadores da toxoplasmose e da leptospirose:

- a) protozoário — vírus.
- b) inseto — verme.
- c) protozoário — bactéria.
- d) verme — protozoário.
- e) bactéria — vírus.

6. (UFMT) O estado de Mato Grosso ocupa lugar de destaque em incidência de doenças como hanseníase, tuberculose e malária. Em relação a essas doenças, julgue as afirmativas:

- (0) A hanseníase tem como sintoma o aparecimento de manchas esbranquiçadas ou avermelhadas com diminuição ou ausência da sensibilidade ao calor, ao frio, à dor e ao tato, e pode ser prevenida através da vacinação.
- (1) A malária, causada pelo *Plasmodium falciparum*, é doença perigosa, pois as hemácias parasitadas aglutinam-se e podem obstruir vasos sanguíneos, principalmente no cérebro, podendo levar à morte.
- (2) Um fator que tem contribuído muito para o aumento da tuberculose, doença causada pelo *Mycobacterium tuberculosis*, é o crescimento considerável de casos de AIDS.
- (3) Hanseníase, tuberculose e malária são doenças causadas, respectivamente, por bactéria, protozoário e vírus.

7. (UFRN) Em Pau dos Ferros e Caicó, municípios noroeste-riograndenses, têm sido detectados casos de cardiomiopatia. Exames clínicos e laboratoriais indicam que o agente etiológico dessa patologia pode ser o(a):

- a) *Toxoplasma gondii*, veiculado pelas dejeções do inseto transmissor, que é muito freqüente nos telhados das casas.
- b) *Leishmania donovani*, inoculada, no ato do hematofagismo, pelo barbeiro, que se esconde em colchões de palha.
- c) *Trypanosoma cruzi*, transmitido pelos excretas do barbeiro, que vive nas frestas das casas de taipa.
- d) *Plasmodium sp.*, veiculado pela saliva do inseto transmissor, o qual é muito freqüente nos pêlos dos animais domésticos.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Uma certa quantidade de água de lagoa com amebas foi colocada em frascos numerados de 1 a 5. Foram adicionadas quantidades crescentes de sais a partir do frasco 2 até o 5. Observando-se, em seguida, as amebas ao microscópio, constatou-se uma gradual diminuição da velocidade de formação de vacúolos pulsáteis a partir do frasco 2. No frasco 5 não se formaram esses vacúolos.

- a) O que aconteceria se as amebas do frasco 1 não tivessem a capacidade de formar vacúolos? Por quê?
- b) Por que no frasco 5 não se formaram vacúolos?

2. (UFV-MG) Leia o texto:

“Fui descoberto em 1909 em Lassance, Minas Gerais. Vivo transitoriamente no intestino de um hemíptero, meu hospedeiro intermediário, que se alimenta de sangue e, como possui intestino muito curto, normalmente, com a colaboração de minha própria vítima, penetro nos tecidos de meu hospedeiro vertebrado definitivo.”

Responda:

- a) Qual é o meu nome específico?
- b) Após penetrar no tecido subcutâneo e atingir a corrente sanguínea do hospedeiro definitivo, onde mais freqüentemente me instalo?

- c) Sou causador de graves lesões no homem. Qual é uma delas?
- d) Qual é o nome da doença causada por mim e que atinge cerca de dez (10) milhões de brasileiros?
- e) Qual é uma das maneiras de não se contagiar comigo?

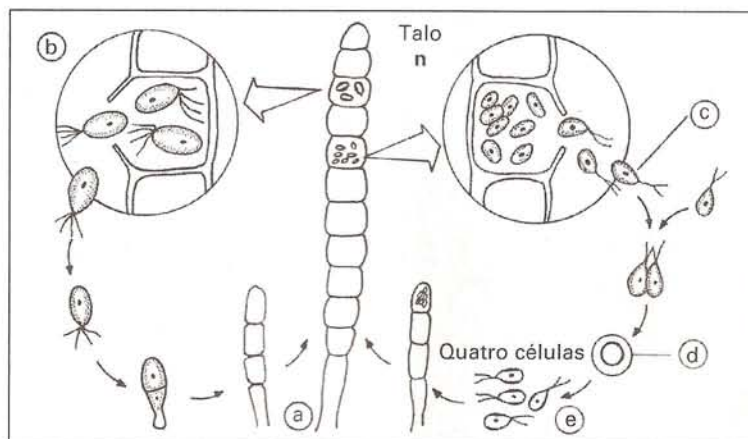
3. (UFGO) A doença de Chagas e a malária, doenças provocadas por protozoários, afetam o sistema circulatório do homem. Essas duas graves doenças, não-erradicadas no Brasil, afetam milhares de pessoas nas diferentes regiões do país.

- a) Compare o modo de infestação da malária e da doença de Chagas e os locais onde os respectivos protozoários se alojam no homem.
- b) Cite 4 (quatro) medidas que poderiam conduzir à diminuição ou até à erradicação da malária do Brasil.

4. (Unicamp-SP) Quando intensamente parasitada por *Giardia lamblia*, uma pessoa passa a sofrer de certas deficiências nutricionais. Estas são explicadas pela interferência na absorção de nutrientes, devido ao fato de que esses parasitas cobrem a mucosa de extensa região do tubo digestivo.

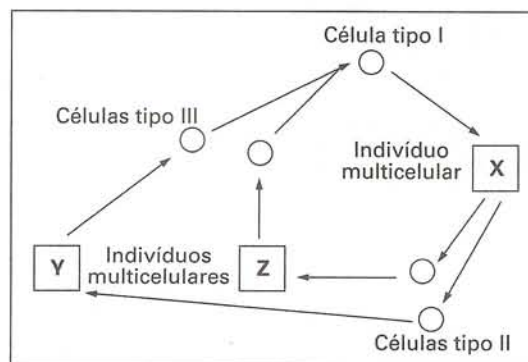
- a) Qual é esta região?
- b) De que maneira se adquire esta parasitose?
- c) Qual o processo de reprodução que ocorre neste parasita?

5. (Unicamp-SP) O esquema abaixo refere-se ao processo de reprodução da alga filamentosa *Ulothrix sp.*



- a) Que tipo de ciclo de vida esta alga apresenta?
- b) Considerando o esquema, identifique pelas letras:
- um gameta e um esporo;
 - as estruturas haplóides e as diplóides;
 - onde ocorre a meiose.

6. (Fuvest-SP) As algas apresentam os três tipos básicos de ciclo de vida que ocorrem na natureza. Esses ciclos diferem quanto ao momento em que ocorre a meiose e quanto à ploidia dos indivíduos adultos. No esquema abaixo está representado um desses ciclos:



- a) Identifique as células tipos I, II e III.
- b) Considerando que o número haplóide de cromossomos dessa alga é 12 ($n = 12$), quantos cromossomos os indivíduos X, Y e Z possuem em cada uma de suas células?



Reino Fungi

1. Características gerais

Os fungos são popularmente conhecidos como bolores, mofos, leveduras, cogumelos-de-chapéu (*champignons*), orelhas-de-pau. São organismos eucariontes unicelulares, como as leveduras, ou multicelulares que incorporam seus alimentos por absorção: as células do corpo dos fungos eliminam enzimas que digerem a matéria orgânica presente no meio, possibilitando sua absorção.

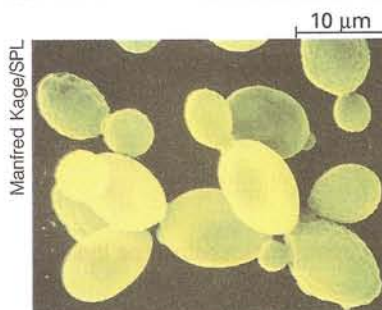
O nome da ciência que estuda os fungos é **Micologia** (do grego *mykes*, que significa cogumelos).



Fotografias de cogumelos-de-chapéu. Medem cerca de 3 cm de altura.



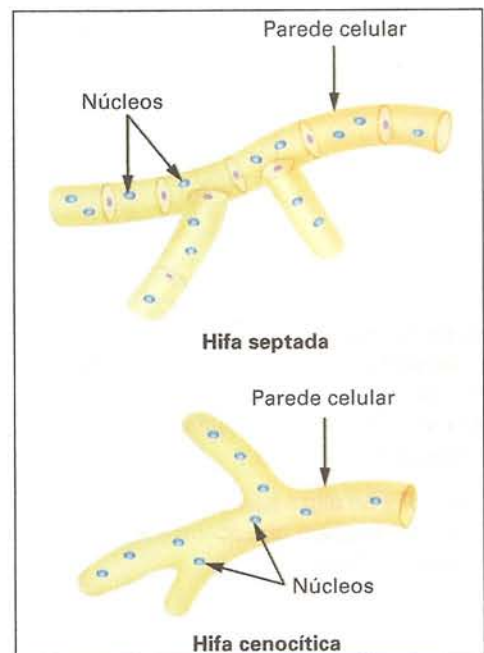
Fotografia de orelhas-de-pau sobre um tronco.



Micrografia eletrônica de varredura, colorida artificialmente, mostrando o fungo *Saccharomyces cerevisiae*.

O corpo dos fungos multicelulares é formado por filamentos delgados chamados **hifas**, cujo conjunto forma um **micélio**, que não é um tecido verdadeiro.

Em algumas espécies de fungo, as hifas são formadas por células uni ou binucleadas, enquanto em outras espécies as hifas são **cenocíticas**: formadas por uma massa citoplasmática única na qual estão imersos vários núcleos.



Esquema dos tipos de hifas dos fungos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Geralmente o micélio pode se diferenciar em vegetativo e reprodutor.

O micélio **vegetativo** é formado por hifas que vivem imersas no substrato e dele retiram o alimento necessário para a sobrevivência do fungo. Em ambiente úmido e rico em matéria orgânica, as hifas desse micélio podem crescer rapidamente. Esse crescimento ocorre nas extremidades das hifas, que vão penetrando cada vez mais no substrato, explorando-o na obtenção de alimento.

Fungo gigante

O micélio vegetativo de um único indivíduo da espécie de fungo *Armillaria ostoyae*, que ocorre no estado de Washington (EUA), expande-se por cerca de 6,5 km² de área e provavelmente deve ter centenas de anos e centenas de toneladas, o que o qualifica como o maior organismo da Terra.

O micélio **reprodutor** é composto de hifas responsáveis pela formação de **esporos**, células com envoltório resistente que, ao germinarem, dão origem a um novo indivíduo.

Essas hifas geralmente se desenvolvem para fora do substrato, o que propicia a dispersão dos esporos.

Em várias espécies de fungo as hifas organizam-se em estruturas reprodutivas especiais chamadas **corpos de frutificação**, onde ocorre a formação de esporos. Um exemplo é o **cogumelo**, que é o corpo de frutificação de certos tipos de fungo.

As células dos fungos possuem parede celular formada basicamente por **quitina**, polissacarídeo presente também em estruturas de certos animais, como as carapaças de artrópodes.

A substância de reserva é o **glicogênio**, presente também nos animais.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS FUNGOS

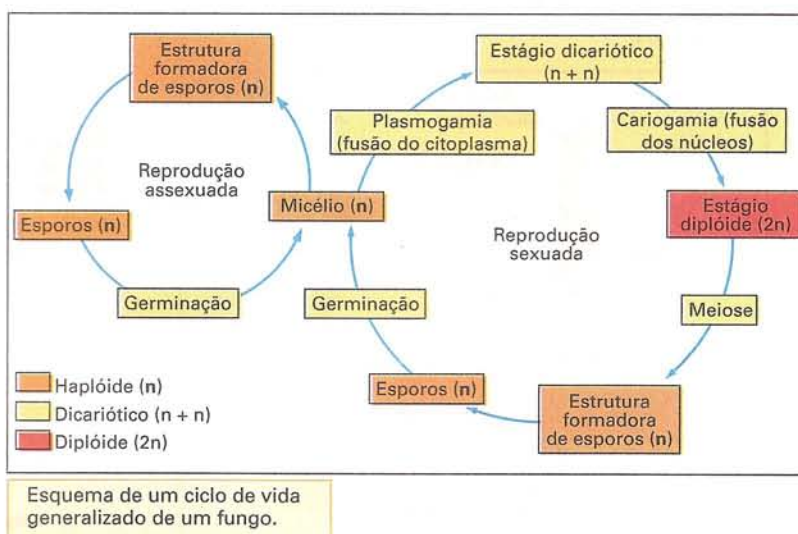
- Organismos heterótrofos que obtêm seus alimentos por absorção de nutrientes do meio.
- Presença de parede celular de quitina.
- Substância de reserva: glicogênio.
- Reprodução sempre envolve a formação de esporos.
- Podem ser unicelulares (como é o caso das leveduras) ou com o corpo formado por hifas que se organizam dando origem ao micélio.

2. Classificação dos fungos

A classificação dos fungos ainda é um assunto polêmico. A que tem tido maior aceitação baseia-se principalmente nos tipos de esporo formados durante os ciclos de vida desses organismos.

Os ciclos de vida dos fungos são divididos em duas fases: uma assexuada e outra sexuada.

A fase assexuada é caracterizada pela formação de esporos por mitose, e os esporos produzidos são denominados **assexuados**. São assexuados os **zoósporos** e alguns tipos de esporos imóveis, como ocorre com os **aplanósporos** e com os **conidiósporos** e com os **conídias** (do grego: poeira).



Esporos assexuados					
Esquema de zoósporos	Esporos flagelados móveis, que ocorrem em fungos aquáticos.	Esquema de aplanósporos	Esporos sem mobilidade própria, que são transportados pelo vento e produzidos no interior de estruturas denominadas esporângios.	Esquema de conídeas ou conidiósporos	Esporos sem mobilidade própria, que são transportados pelo vento. Não são produzidos em esporângios e são menores que os aplanósporos.

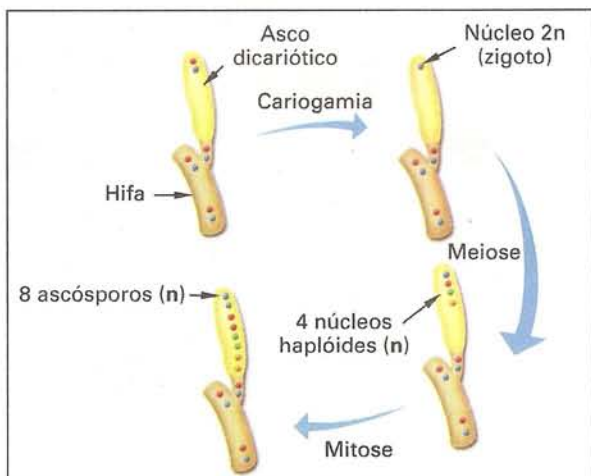
Esquemas feitos com base em observações ao microscópio de luz. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Muitos fungos permanecem longos períodos na fase assexuada mas, especialmente quando ocorrem alterações ambientais, há estímulo para que tenha início a fase sexuada.

A fase sexuada é caracterizada pela formação de esporos por meiose, e os esporos produzidos são denominados **sexuados**. Estes não se movem por si mesmos; são disseminados pelo vento. Nessa fase, hifas procedentes de micélios distintos aproximam-se e se unem. Num primeiro momento ocorre a fusão do citoplasma dessas hifas sem que haja fusão dos núcleos, fenômeno chamado **plasmogamia**. Assim, num mesmo citoplasma existem núcleos haplóides provenientes de hifas distintas. Esses fungos podem permanecer nesse estágio, que é chamado de **dicariótico**, por muito tempo, para somente depois ocorrer a fusão dos núcleos n , processo denominado **cariogamia**. Formam-se, então, núcleos diplóides que sofrem meiose, originando esporos haplóides que são liberados, reiniciando o ciclo.

Os esporos sexuais podem ser de dois tipos principais:

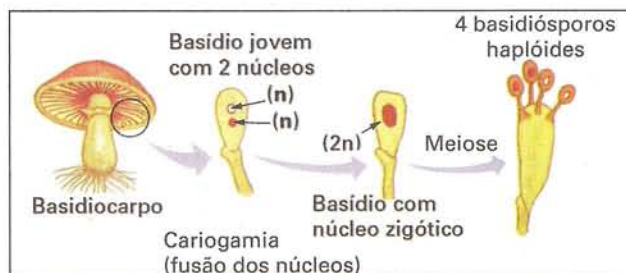
- **ascósporos**: formados no interior de uma estrutura especial denominada **asco**. Inicialmente, o asco é uma célula com dois núcleos n (dicariótica) que se fundem originando um núcleo $2n$. Este sofre meiose, formando quatro núcleos haplóides. Na maioria das espécies, eles se dividem mais uma vez, agora por mitose, originando um total de oito células haplóides (n), que são os ascósporos.



Esquema da formação de ascósporos (cores-fantasia).

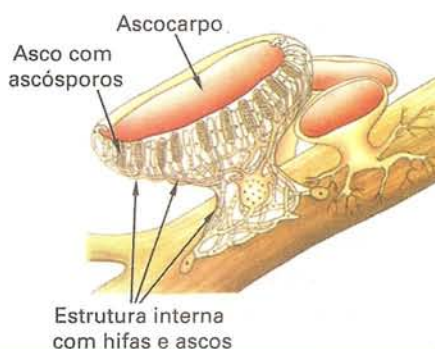
- **basidiósporos**: formados em uma estrutura denominada **basídio** (do latim *basidium* = pequeno pedestal). Um basídio jovem corresponde inicialmente a uma célula com dois núcleos, que se fundem originando um núcleo diplóide, que logo sofre meiose resultando quatro núcleos haplóides. Cada núcleo migra para uma projeção apical do basídio, constituindo quatro basidiósporos. Assim, ao contrário dos ascos, que armazenam os ascósporos em seu interior, os

basídios armazenam os basidiósporos externamente.

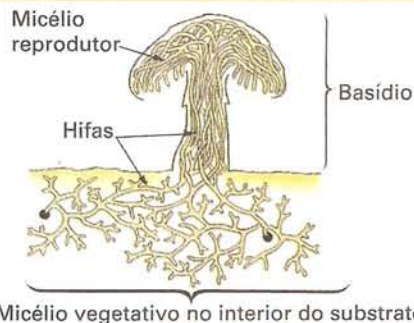


Esquema da formação de basidiósporos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Na maioria dos casos, as hifas produtoras de esporos encontram-se reunidas em corpos de frutificação, que podem ser **ascocarpos**, no caso de abrigarem os ascos, ou **basidiocarpos**, no caso de abrigarem basídios.



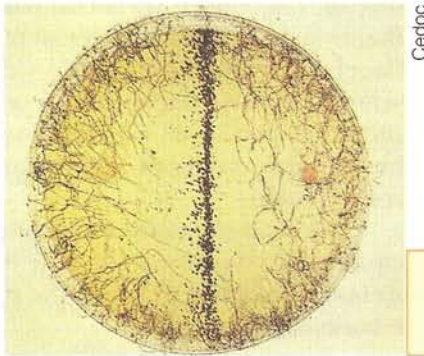
Esquema de ascocarpos mostrando parte da sua estrutura interna (cores-fantasia). O espécime maior mede cerca de 3 cm de diâmetro.



Esquema da organização das hifas de um basidiomiceto (cores-fantasia). O basídio tem cerca de 4 cm de altura.

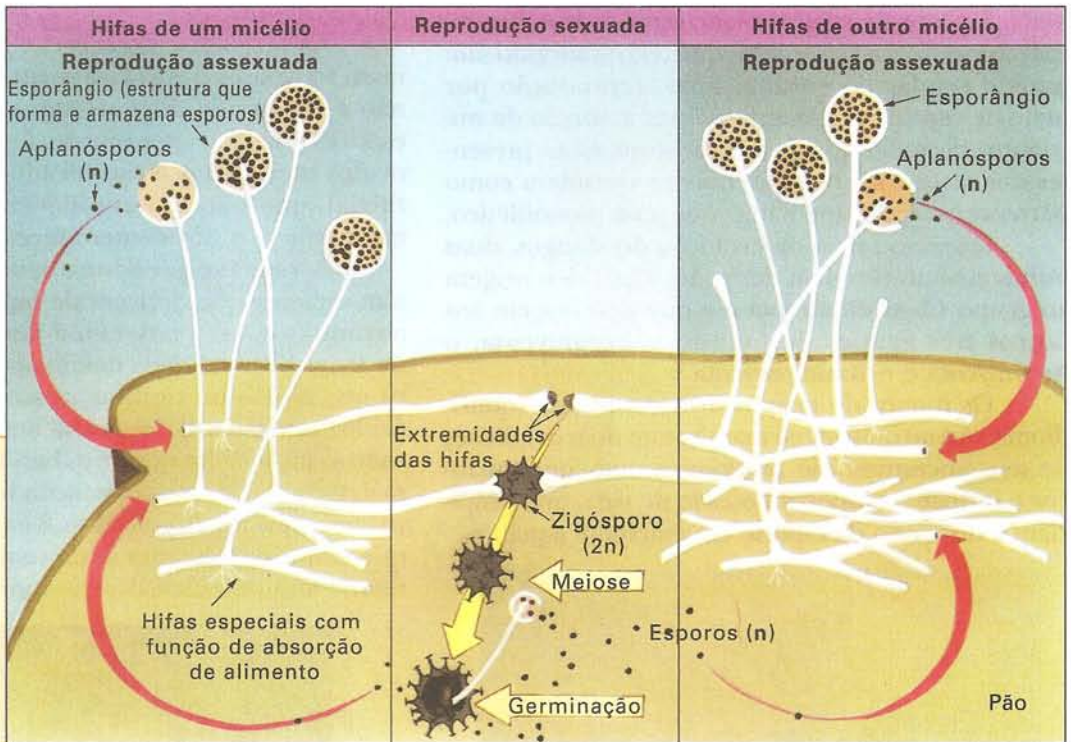
Além desses casos, existe um tipo especial de esporo que se desenvolve após a fusão de núcleos haplóides, presentes nas extremidades de hifas especiais, pertencentes a micélios distintos. Depois da fusão dos núcleos, há espessamento da parede celular, formando um envoltório rugoso e de cor escura. Essa estrutura recebe o nome de **zigósporo** e é uma forma de resistência contra efeitos adversos do meio. Em condições adequadas, ocorre meiose nos núcleos $2n$ dessa estrutura, dando origem a vários esporos sexuais haplóides, que são dispersos

pelo vento. Esses esporos sexuais germinam e formam hifas haplóides, sendo que algumas delas diferenciam-se em esporângios, onde esporos assexuados do tipo aplanósporos são formados por mitose.

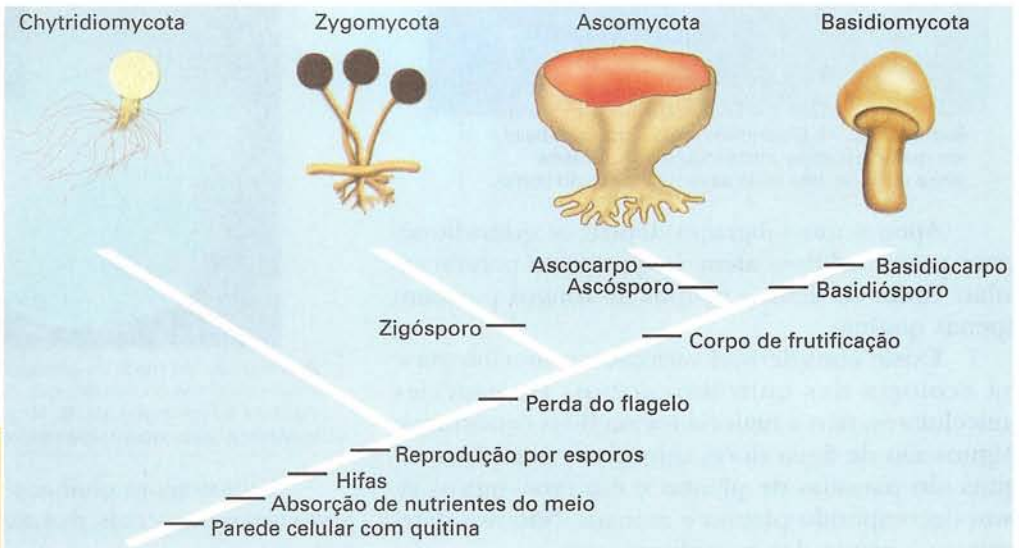


Fotografia de cultura de hifas de *R. stolonifer* em placa de Petri. Observe a linha escura no centro, que corresponde a vários zigósporos. Cada zigósporo mede cerca de 100 μm de diâmetro.

Esquema do ciclo de vida do bolor preto do pão, *Rhizopus stolonifer*, que forma os zigósporos. O esporângio mede cerca de 50 μm de diâmetro. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)



Com base nesses tipos de esporos que se formam no ciclo de vida, os fungos podem ser classificados como resumido ao lado; esta é uma das propostas bem aceitas e que será adotada neste livro.



Cladograma mostrando uma das propostas de relações filogenéticas entre os grupos de fungos.

Essa classificação dos fungos contrasta com uma das mais antigas, como mostra a tabela a seguir:

Classificação mais atual	Classificação mais antiga
Quitridiomicetos Zigomicetos	Ficomicetos (não possuem corpo de frutificação)
Ascomicetos Basidiomicetos Deuteromicetos	Ascomicetos Basidiomicetos Deuteromicetos

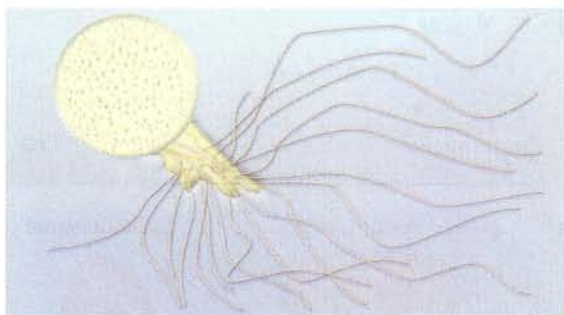
Vamos nos basear apenas na classificação apresentada no cladograma.

Os fungos provavelmente evoluíram a partir de ancestrais protistas que viviam em ambiente aquático e que possuíam flagelos em seus ciclos de vida.

A partir desse grupo ancestral, as características básicas típicas dos fungos que teriam surgido são: parede celular de quitina, hifas, reprodução por meio de esporos e alimentação por absorção de nutrientes do meio. Essas características estão presentes nos quatro grupos que hoje se considera como pertencentes ao Reino Fungi, que seria monofilético.

Logo no início da evolução dos fungos, duas linhas evolutivas teriam derivado: a que deu origem ao grupo **Chytridiomycota** e a que deu origem aos outros três grupos de fungos: o **Zygomycota**, o **Ascomycota** e o **Basidiomycota**.

Os fungos do grupo Chytridiomycota (quitridiomicetos ou quitrídios) mantiveram duas condições de seus ancestrais: são predominantemente aquáticos e formam zoósporos no ciclo de vida, que propiciam a dispersão da espécie em ambiente aquático.



Esquema de um Chytridiomycota, feito com base em observações ao microscópio de luz. Mede cerca de 1 μ m, incluindo as ramificações do corpo.

Apenas um subgrupo dentre os quitridiomicetos possui celulose além de quitina na parede celular. Todos os demais grupos de fungos possuem apenas quitina.

Existe considerável variação na morfologia e na ecologia dos quitridiomicetos. Há espécies unicelulares, mas a maioria forma hifas cenocíticas. Alguns são de água doce, outros são marinhos; alguns são parasitas de plantas e dípteros, outros vivem decompondo plantas e animais. Não nos deteremos no grupo dos quitridiomicetos.

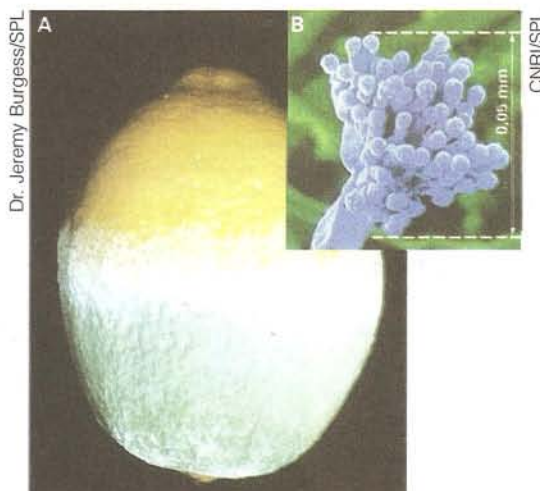
Na linhagem que deu origem aos demais grupos, teria ocorrido a perda do flagelo. Todos os Zygomycota (zigomicetos), Ascomycota (ascomicetos) e Basidiomycota (basidiomicetos) não possuem esporos flagelados em seus ciclos de vida. Os esporos são sempre imóveis e transportados pelo vento, o que propicia a dispersão da espécie em ambiente aéreo. A imensa maioria desses fungos vive em ambiente terrestre úmido.

A distinção entre esses três grupos se faz principalmente com base no tipo de esporo que se forma na fase sexuada do ciclo de vida: zigósporo, ascósporo e basidiósporo.

Neste livro daremos ênfase apenas a esses três grupos de fungos.

Além deles, existem certos fungos que não formam zoósporos e cuja fase sexuada do ciclo de vida não é conhecida. Eles se reproduzem apenas por esporos formados por mitose. Esses fungos são chamados **imperfeitos** e classificados em um grupo artificial, que não é monofilético e não tem valor taxonômico: o dos **deuteromicetos**.

Acredita-se que dentre os deuteromicetos existam espécies que derivem de basidiomicetos ou de ascomicetos que perderam a fase sexuada do ciclo de vida. Estudos mais detalhados, principalmente os que objetivam verificar as semelhanças entre os ácidos nucleicos de certos deuteromicetos, têm levado a classificá-los dentre os basidiomicetos ou, com mais frequência, dentre os ascomicetos. É o que ocorre com espécies dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, que eram consideradas deuteromicetos e que atualmente têm sido classificadas como ascomicetos.



A: fotografia do mofo do gênero *Penicillium* decompondo um limão. Produz conídios, que dão a cor azul esverdeada ou cinza à região afetada. **B:** Micrografia eletrônica de varredura, colorida artificialmente, mostrando conídios.

Vamos agora conhecer um pouco mais a respeito dos zigomicetos, dos ascomicetos e dos basidiomicetos.

3. Zigomicetos

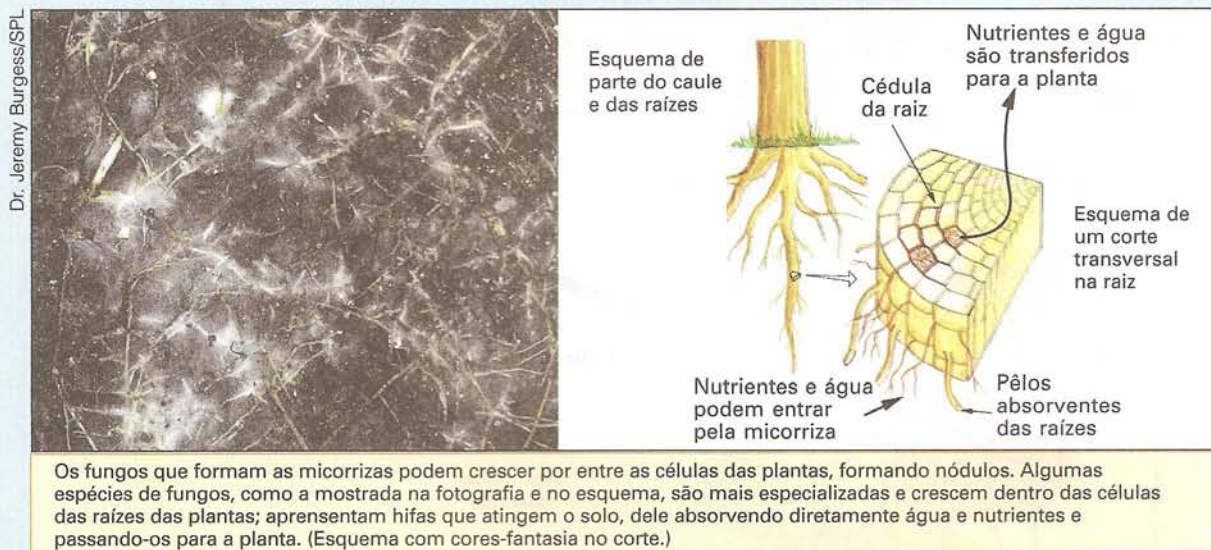
Os zigomicetos são fungos que formam zigósporo no ciclo de vida, como já explicado no item anterior. Ocorrem no solo ou decompondo a matéria orgânica do corpo de animais mortos e de plantas mortas. Alguns zigomicetos são utilizados na elaboração de produtos comerciais valiosos, como molho de soja, ácidos orgânicos, esteróides para pílulas anticoncepcionais e drogas antiinflamatórias.

O corpo dos zigomicetos é composto por hifas cenocíticas, e algumas espécies formam micorrizas.

Micorrizas

Algumas espécies de fungo vivem em associação mutualística com outros organismos. Dentre os fungos mutualísticos, existem os que vivem associados a raízes de plantas, formando as **micorrizas** (raízes que contêm fungos). Nesses casos, os fungos absorvem água do solo, degradam matéria orgânica e absorvem os nutrientes liberados, transferindo-os em parte para a planta, que assim cresce mais sadia. A planta, por sua vez, cede ao fungo certos açúcares e aminoácidos de que ele necessita como alimento.

As micorrizas são extremamente importantes nos ecossistemas e na natureza. Cerca de 95% das plantas vasculares formam micorrizas. Os fungos envolvidos vivem permanentemente associados às raízes das plantas. Na figura a seguir estão explicados exemplos de micorriza.



4. Ascomicetos

Esse é o grupo que reúne o maior número de espécies dentre os fungos.

Existem espécies unicelulares, como as leveduras, e espécies que formam hifas, como ocorre com a *Neurospora crassa*. Esta tornou-se clássica nos experimentos de Genética no início dos anos 1940 como modelo experimental em que os pesquisadores George Beadle e Edward Tatum propuseram que cada gene era responsável pela formação de uma enzima (um gene—uma enzima), tendo recebido por isso o prêmio Nobel em 1958.

Muitos ascomicetos formam micorrizas, sendo que certas orquídeas somente se desenvolvem se esses fungos estiverem presentes em suas raízes.

As leveduras reproduzem-se assexuadamente por **brotamento** (de uma célula inicial surge uma pro-

jeção menor que depois se separa da célula inicial) ou por **bipartição** (uma célula divide-se em duas de mesmo tamanho).

Em outros ascomicetos, na fase assexuada há formação de esporos por mitose na extremidade de hifas, e não no interior de esporângios, como ocorre nos zigomicetos. Esses esporos, chamados **conídias** ou **conidiósporos**, são dispersos pelo vento.

A característica marcante dos ascomicetos, no entanto, é o tipo de esporo formado na fase sexuada do ciclo de vida: os **ascósporos** que se formam no interior dos **ascos**.

No ciclo de vida de *Saccharomyces cerevisiae*, há ascos com apenas quatro ascósporos, e não há formação de corpo de frutificação.

Saccharomyces cerevisiae e a fabricação de bebidas alcoólicas e a produção de pães

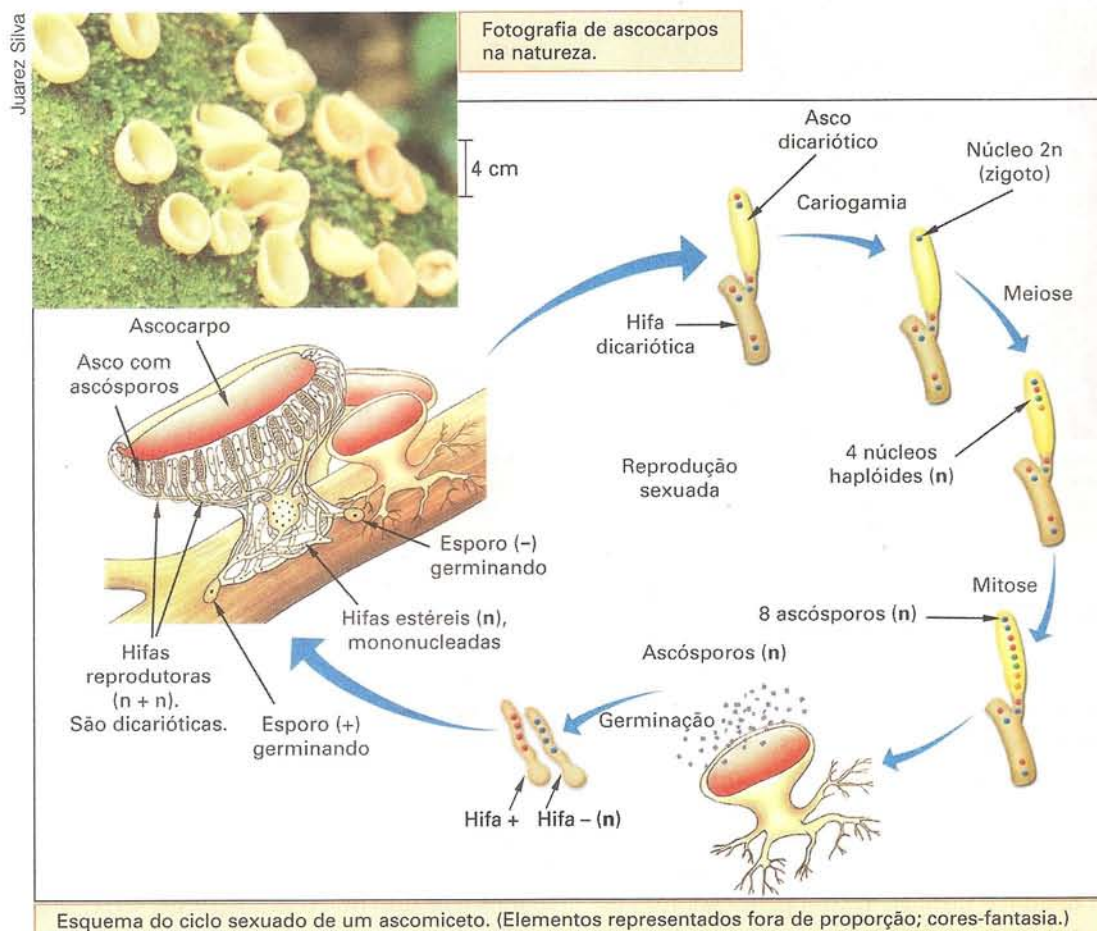
Muitos fungos são aeróbios, isto é, realizam a respiração, mas existem alguns que na ausência de oxigênio realizam a fermentação; estes últimos são anaeróbios facultativos. Dentre os anaeróbios facultativos, alguns são utilizados na produção de bebidas alcoólicas, como a cerveja e o vinho, e na preparação do pão. Nesses processos, o fungo utilizado pertence à espécie *Saccharomyces cerevisiae*, capaz de realizar fermentação alcoólica na ausência de oxigênio, degradando o açúcar em álcool etílico e CO_2 .

Na fabricação de bebidas alcoólicas, o importante é o álcool produzido na fermentação; na preparação do pão, é o CO_2 .

Na preparação do pão, o CO_2 que vai sendo formado acumula-se no interior da massa, originando pequenas bolhas que tornam o pão poroso e mais leve. O aprisionamento do CO_2 na massa só é possível devido ao alto teor de glúten na farinha de trigo, que dá a "liga" do pão. Pães feitos com farinhas pobres em glúten não crescem tanto quanto os feitos com farinhas ricas em glúten.

Imediatamente antes de ser assado, o teor alcoólico do pão chega a 0,5%; quando o pão está sendo assado, esse álcool evapora e dá ao pão um aroma característico.

Nos demais ascomicetos, os ascos organizam-se em **ascocarpos**, como representado na figura a seguir, que resume o ciclo de vida de um ascomiceto que cresce em troncos em decomposição.



São também exemplos de ascomicetos que formam ascocarpo as trufas (gênero *Tuber*), muito apreciadas como alimento pelo ser humano em função do sabor e do aroma agradáveis. Esses fungos ocorrem na Europa, especialmente na França. Desenvolvem-se sob o solo, geralmente formando micorrizas com raízes de algumas árvores, como o carvalho e a faia. A parte

comestível é o ascocarpo, que também é subterrâneo e exala um forte odor. Os franceses utilizam cachorros ou porcos treinados para localizar o ascocarpo.

Outro exemplo é a *Morchella esculenta*, cujo ascocarpo também é muito apreciado como alimento pelo ser humano. Esse fungo forma micorriza com raízes de plantas, mas seu ascocarpo não é subterrâneo.

Dentre os ascomicetos, estão espécies capazes de produzir substâncias que atuam como antibióticos e que, portanto, combatem bactérias. Algumas dessas espécies têm sido usadas na produção comercial de antibióticos, como é o caso do *Penicillium chrysogenum* e do *Penicillium notatum*, que sintetizam penicilina.

Outras espécies são prejudiciais à saúde humana. Por exemplo, o **LSD**, uma droga ilegal, é um derivado obtido em laboratório a partir do ácido lisérgico extraído de grãos de cereais, especialmen-

te do centeio, infectados pelo ascomiceto *Claviceps purpurea*. Esses grãos infectados contêm também outro composto alucinógeno, a **ergotina**. O ascomiceto *Aspergillus flavus* cresce em amendoim e em muitos outros substratos, e produz a **aflatoxina**, potente cancerígeno que causa sérios danos ao fígado.

Há ascomicetos que são aplicados nas indústrias de laticínios, como é o caso do *Penicillium roquefortii* e do *Penicillium camembertii*, usados na fabricação dos queijos *roquefort* e *camembert*, respectivamente.

5. Basidiomicetos

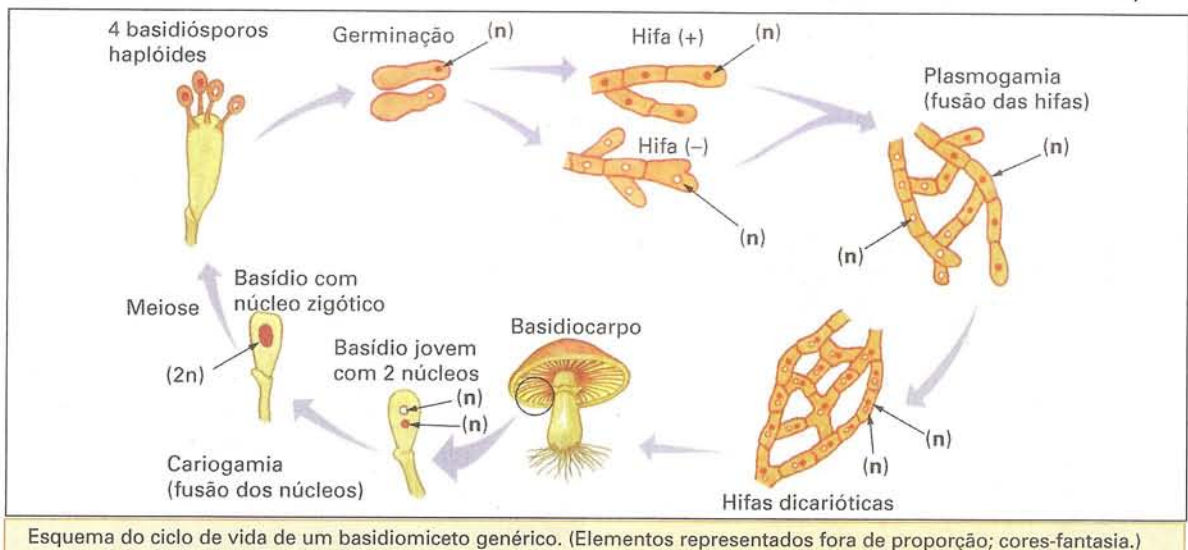
São exemplos de basidiomicetos os cogumelos do gênero *Agaricus*, apreciados como alimento pelo ser humano, as orelhas-de-pau, e fungos prejudiciais à saúde humana, como o *Amanita muscaria*, o *Amanita phalloides*, cujo veneno pode até matar uma pessoa, e os do gênero *Psilocybe*, que produzem efeitos alucinógenos semelhantes aos do LSD, causando sérios danos ao sistema nervoso.



Cerca de metade das espécies de basidiomicetos formam micorrizas. A característica marcante desse grupo é o tipo de esporo produzido por meiose na fase sexuada do ciclo: o **basidiósporo**, que se forma nos **basídios**.

Todos os basidiomicetos abrigam os basídios em corpos de frutificação: os **basidiocarpos**.

Os basidiomicetos são bastante uniformes quanto ao ciclo de vida, seguindo, com poucas variações, as fases descritas a seguir para um basidiomiceto genérico.



Outros aspectos sobre a importância dos fungos

Vários aspectos da importância dos fungos já foram mencionados neste capítulo. Vamos comentar mais alguns aspectos desses organismos.

A maioria das espécies de fungo atua no meio ambiente como **decompositoras**. Juntamente com as bactérias decompositoras, os fungos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, propiciando a reciclagem de nutrientes. Contribuem assim, de modo fundamental, no ciclo da matéria nos ecossistemas.

Apesar desse aspecto positivo da decomposição, os fungos são responsáveis pelo apodrecimento de alimentos e de madeiras, provocando sérios prejuízos econômicos.

Os fungos podem atuar como parasitas de plantas e de animais. A **ferrugem** que afeta cafeeiros e outras plantas é um exemplo. A **micose** que surge na pele humana é uma parasitose causada por fungo. São exemplos de micose o pé-de-atleta e a pitíriase. O **sapinho** é uma doença comum especialmente em crianças e é causada por fungos do gênero *Candida*, que provocam múltiplos pontos brancos na boca. Essas mesmas espécies causam as **candidíases vaginais**.

A **histoplasmose** é uma doença causada pelo fungo *Histoplasma capsulatum*, que parasita os pulmões. A infecção ocorre por inalação de esporos presentes na poeira levantada de solos contaminados. Esse fungo desenvolve-se principalmente sobre o guano de aves e de morcegos.

Entre os fungos mais especializados, estão os **predadores**, que desenvolveram vários mecanismos para capturar pequenos organismos, especialmente nematódeos, utilizando-os como alimento. Um mecanismo relativamente simples de captura desses vermes é encontrado no fungo *Arthrobotrys oligospora*, que vive no solo. Esse fungo produz hifas dispostas como uma rede de pequenos anéis, que secretam abundantemente uma substância viscosa. Ao tentarem passar por esses anéis, os nematódeos ficam presos neles e na secreção viscosa. Estimulado pela presença do verme, o fungo secreta mais muco e desenvolve rapidamente hifas adicionais, que envolvem o animal. Em seguida, o fungo emite hifas que penetram o corpo do verme e absorvem seus tecidos. A morte do nematódeo ocorre cerca de duas horas após a captura.



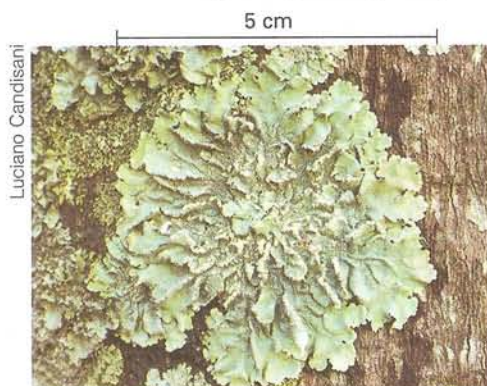
Micrografia eletrônica de um nematódeo capturado pelo fungo predador *Arthrobotrys oligospora*.

6. Líquens

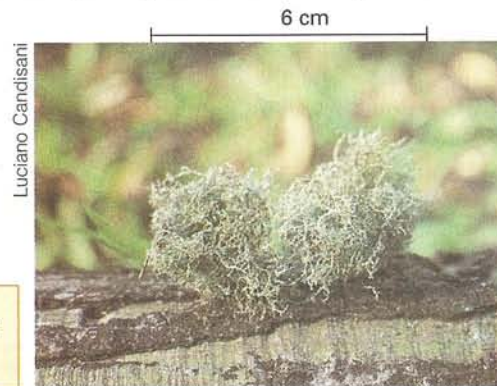
Os líquens são associações geralmente mutualísticas entre fungos e algas verdes unicelulares, ou entre fungos e cianobactérias. Os fungos que participam dessa associação comumente são ascomicetos ou, mais raramente, basidiomicetos.

Nos líquens, a alga, que é autótrofa, realiza fotossíntese e, assim, produz alimento para ela e para o fungo. Este, que é heterótrofo, oferece proteção à alga, além de reter sais e umidade, necessários a ambos.

Os líquens podem se instalar em troncos de árvores, rochas, muros e postes. O formato dos líquens varia muito de espécie para espécie, como exemplificado por representantes dos gêneros *Parmelia* e *Usnea*.

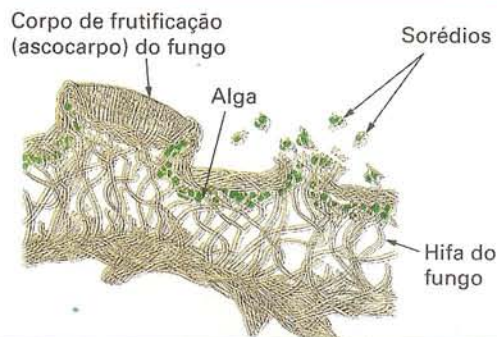


Fotografia de *Parmelia*: um líquen crostoso.



Fotografia de *Usnea*: um líquen ramificado.

A reprodução dos líquens se faz principalmente por meio de propágulos vegetativos denominados **sorédios**. Cada sorédio contém algumas poucas algas envolvidas por algumas hifas dos fungos. É uma estrutura pequena, facilmente transportada pelo vento. As algas e os fungos podem se reproduzir independentemente da formação de sorédios.



Esquema do corpo de um líquen em corte, feito com base em observações ao microscópio eletrônico, mostrando a formação de sorédios e de corpo de frutificação do fungo (ascocarpo). (Cores-fantasia.)

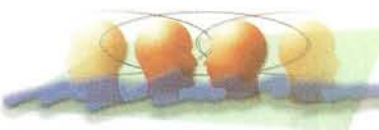


QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Diferencie os fungos dos demais seres vivos.
2. Dê exemplos de doenças causadas por fungos na espécie humana.
3. Qual a importância ecológica dos fungos decompositores e dos mutualísticos?
4. Uma receita de pão caseiro pede farinha de trigo, leite, manteiga, ovos, sal, açúcar e fermento (levedura). Esses ingredientes bem misturados e sovados formam uma massa, que é deixada para "descansar". Uma bolinha dessa massa é colocada num copo com água e afunda. Depois de algum tempo, a bolinha sobe até a superfície, sugerindo que a massa está pronta para assar. Explique por que a bolinha de massa sobe até a superfície. Qual elemento

da receita o fermento está usando para o seu metabolismo?

5. Diferencie micélio reprodutor de micélio vegetativo e comente as adaptações desses micélios às funções que executam.
6. Explique por que, ao deixarmos um pacote de pão aberto e guardado em local quente e úmido, as fatias podem ficar emboloradas depois de alguns dias.
7. Esquematize com desenhos e explique a fase sexuada do ciclo de vida de um zigomiceto, de um basidiomiceto e de um ascomiceto.
8. Explique o que são líquens e como eles podem se reproduzir.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Fungos — heróis e vilões da biosfera

À primeira vista, os fungos são pouco interessantes. Mas eles contribuem de forma decisiva para a preservação da diversidade biológica do nosso planeta e estão presentes, de mil formas, no nosso cotidiano.

Os refrigerantes, por exemplo, são produtos fúngicos, porque a maioria tem ácido cítrico, produzido por um fungo, o *Aspergillus niger*, que é usado industrialmente.

Poderíamos citar numerosos exemplos de fungos que estão presentes em nosso cotidiano, mas o que interessa ressaltar é que, dentre a rica biodiversidade brasileira, uns 20% são fungos. Existem 1,5 milhão de espécies do Reino Fungi, a maior parte delas invisível a olho nu.

Assim como algumas espécies de bactérias, os fungos atuam no ambiente como agentes da decomposição, permitindo a reciclagem de nutrientes. Se houvesse, por exemplo, um grande cataclismo que eliminasse os decompositores da face do planeta, o cenário que se poderia imaginar seria uma gradativa acumulação, nos sistemas terrestre e aquático, de matéria orgânica não-decomposta (galhos de árvores, restos de animais etc.), fazendo com que todo o equilíbrio da biosfera ficasse comprometido.

Os fungos na feitiçaria e na culinária

Os cogumelos, por serem visíveis a olho nu, sempre despertaram o interesse das primeiras civilizações. Uma das características do cogumelo é a ve-

localidade com que ele se desenvolve. Olha-se um dia para um tronco de uma árvore caída e não tem nada ali; no dia seguinte, há uma abundância enorme de cogumelos sobre ele. Na cultura cheia de superstição do passado, esse crescimento foi interpretado como algo mágico, como bruxaria. Na América Central, no México e na Guatemala, as civilizações pré-colombianas faziam uso de cogumelos nos seus rituais, e até hoje no interior desses países os mercados sempre estão repletos de diversos tipos de cogumelos comestíveis.

No Brasil, uma pesquisa sobre os nomes dados aos fungos entre os povos indígenas mostrou que essas denominações eram carregadas de aspectos negativos. Fungo nas línguas indígenas é sinônimo de coisa ruim, imprestável. Só os ianomâmis têm para eles uma lista grande de nomes sem essas conotações, indicando inclusive o uso que fazem de cogumelos, sobretudo na culinária. De fato, os ianomâmis consomem cogumelos de diferentes tipos, mas não há registro do seu uso como alucinógenos.

Os fungos são apreciados na culinária também desde épocas muito antigas. No Império Romano, a

espécie de cogumelo *Amanita caesariae* foi assim batizada por ter sido reservada aos Césares. Outros cogumelos comestíveis eram de uso exclusivo dos nobres.

A Micologia médica é a área da Micologia que estuda as doenças causadas por fungos no ser humano. A maioria dos fungos capazes de causar infecção vive da matéria orgânica em decomposição. Vejamos um exemplo: o *Cryptococcus neoformans* — agente da **criptococose** — é encontrado em grande quantidade nos espaços urbanos associados a habitats de pombos e de psitacídeos (papagaios, periquitos etc.). O excremento desses animais favorece a proliferação dos fungos e, quando resseca, espalha-se em pequenas partículas na poeira. Inalado, o fungo chega ao alvéolo pulmonar, onde pode se instalar e causar lesões, especialmente em pessoas cujas defesas estejam baixas.

Apesar de causarem doenças, algumas espécies de fungo são capazes de produzir substâncias que atuam como antibiótico.

Adaptado de artigo publicado na *Revista Ecologia e Desenvolvimento*, 83ª ed., jul./ago. 2000.

- Tomando por base seus conhecimentos prévios sobre os fungos, outras fontes de consulta e as informações fornecidas neste capítulo, discuta com seus colegas a visão abordada neste texto, em que por um lado os fungos são interpretados como vilões da natureza, e por outro são considerados heróis.



TESTES

1. (UFSC) O mofo que ataca os alimentos, os cogumelos comestíveis e o fermento de fazer o pão são formados por organismos que pertencem ao Reino Fungi. Com relação a esse grupo, indique a(s) proposição(ões) verdadeira(s):

- 01) São organismos eucariontes, unicelulares ou pluricelulares, autotróficos facultativos.
- 02) O material nutritivo de reserva é o glicogênio.
- 04) Em função da nutrição heterótrofa, esses seres podem viver em mutualismo, em saprobiose ou em parasitismo.
- 08) Alguns fungos são utilizados na obtenção de medicamentos.
- 16) Nutrem-se por digestão extracorpórea, isto é, liberam enzimas digestivas no ambiente, que fragmentam macromoléculas em moléculas menores, permitindo sua absorção pelo organismo.

32) Na alimentação humana são utilizados, por exemplo, na fabricação de queijos, como o *roquefort* e o gorgonzola.

64) Reproduzem-se, apenas, assexuadamente por meio de esporos, formados em estruturas denominadas esporângios, ascos e basídios.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

2. (PUC-RS) Em qual das atividades humanas listadas abaixo **não** há participação de fungos?

- a) Produção de álcool combustível.
- b) Fabricação de certos antibióticos.
- c) Indústria da cerveja e do vinho.
- d) Pesquisas em controle biológico.
- e) Produção industrial de iogurte.

3. (Cefet-PR) Com a chegada do verão aumentam os casos de micoses de praia. A pitiríase pertencente é uma doença universal que deixa a pele esbranquiçada, aparecendo principalmente no pescoço e no colo. Os fungos responsáveis pelas micoses são seres vivos que se caracterizam por:

- a) serem formados por um emaranhado de filamentos chamados hifas, cujo corpo forma o micélio.
- b) apresentarem nutrição autotrófica por fotossíntese.
- c) serem procariontes, uni ou pluricelulares.
- d) apresentarem reserva energética de amido.
- e) apresentarem parede celular formada por celulose.

4. (UnB-DF) No ciclo da vida, os fungos exercem papel importante na reciclagem dos nutrientes. Com relação a esses organismos, julgue os seguintes itens:

- 1) Os cogumelos venenosos podem ser facilmente distinguidos dos não-venenosos pela vivacidade da sua coloração, pois os não-venenosos são brancos ou pardos.
- 2) Alguns fungos são capazes de associarem-se a algas para constituírem os micélios.
- 3) Os fungos não apresentam clorofila.
- 4) Todos os fungos são saprófitas, não havendo nenhum autótrofo ou parasita.

5. (UFF-RJ) Pode-se afirmar que os líquens são uma associação entre:

- a) algas e fungos com reprodução sexuada por meio de sorédios.
- b) algas e bactérias com reprodução assexuada por meio de esporos.
- c) algas e fungos com reprodução assexuada por meio de sorédios.
- d) algas e fungos com reprodução assexuada por meio de esporos.
- e) algas e fungos com reprodução sexuada por meio de esporos.

6. (PUC-RS) Os fungos que conhecemos por *champignons*, vendidos no comércio em embalagens de plástico ou vidro, pertencem ao grupo dos:

- a) ascomicetos.
- b) deuteromicetos.
- c) ficomicetos.
- d) arquimicetos.
- e) basidiomicetos.

7. (PUC-RS) Determinados tipos de sementes podem sofrer contaminação por substâncias tóxicas produzidas por seres vivos cuja estrutura corporal está representada por hifas. Esses indivíduos devem pertencer ao grupo:

- a) das algas.
- b) dos protozoários.
- c) das bactérias.
- d) dos vírus.
- e) dos fungos.

8. (UFMS) Observe o desenho abaixo e indique a(s) proposição(ões) verdadeira(s) sobre esse grupo de organismos.



- 01) São organismos eucarióticos.
 - 02) Fazem parte do Reino Fungi.
 - 04) Existem espécies comestíveis, venenosas e outras alucinógenas.
 - 08) Existem espécies fotossintetizadoras.
 - 16) Podem ser saprófitas ou parasitas.
 - 32) O *champignon* é um exemplo pertencente a esse grupo.
- Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (EEM-SP) “Engana-se quem acha que uma salada com cogumelos é um prato vegetariano. Cientistas descobriram que as características genéticas dos fungos (categoria à qual pertencem os cogumelos) estão muito mais próximas às dos animais do que às dos vegetais. A novidade vem do 16º Congresso Internacional de Botânica, em St. Louis (EUA) [...]”

(IstoÉ, “Salada sem cogumelo”, 08 set. 1999.)

Cite três características dos fungos que os tornam mais próximos de animais do que de vegetais.

2. (Unicamp-SP) Até há algum tempo, considerava-se que fungos e bactérias pertenciam ao reino vegetal. Com o reconhecimento das diferenças entre eucariotos e procariotos, as bactérias foram separadas, mas os fungos permaneceram incluídos no reino vegetal. Mais recentemente, porém, tornou-se claro que os organismos agrupados como fungos definitivamente não são plantas.

- a) Apresente uma característica comum a bactérias e fungos que permitiu considerá-los como plantas.
- b) Apresente uma característica das bactérias que demonstra serem elas pertencentes a outro reino. Qual é esse reino?
- c) Cite duas características das plantas que não são encontradas nos fungos.

3. (Fuvest-SP) O molho de soja mofado vem sendo usado na China, há mais de 2 500 anos, no combate a infecções de pele. Durante a Segunda Guerra Mundial, prisioneiros russos das prisões alemãs que aceitavam comer pão mofado sofriam menos infecções de pele que os demais prisioneiros, os quais recusavam esse alimento.

- a) O que é mofo?
- b) Por que esses alimentos mofados podem combater as infecções de pele?

4. (Unicamp-SP) Fungos crescem sobre alimentos formando colônias de várias colorações visíveis a olho nu (bolor ou mofo). Em um experimento, um meio de cultura à base de amido foi preparado sob fervura e, a seguir, distribuído nos frascos de I a IV, nas seguintes condições:

- I — tampado imediatamente;
- II — tampado depois de frio;
- III — tampado depois de frio por plástico com furos;
- IV — destampado.

- a) Em qual frasco, teoricamente, se espera que um maior número de colônias se desenvolva? Por quê?
- b) Indique as etapas do desenvolvimento de uma colônia.
- c) Por que os fungos crescem sobre substratos orgânicos?

5. (Vunesp-SP) Fungos e bactérias têm sido considerados, por muitos, os “vilões” entre os seres vivos. Sabemos, entretanto, que ambos apresentam aspectos positivos e desempenham importantes funções ecológicas.

- a) Cite uma forma pela qual bactérias e fungos podem contribuir para a reciclagem de nutrientes minerais.
- b) Cite um exemplo de conquista científica no combate a infecções que foi possível a partir da utilização de fungos.



Reino Plantae

1. Origem e classificação das plantas

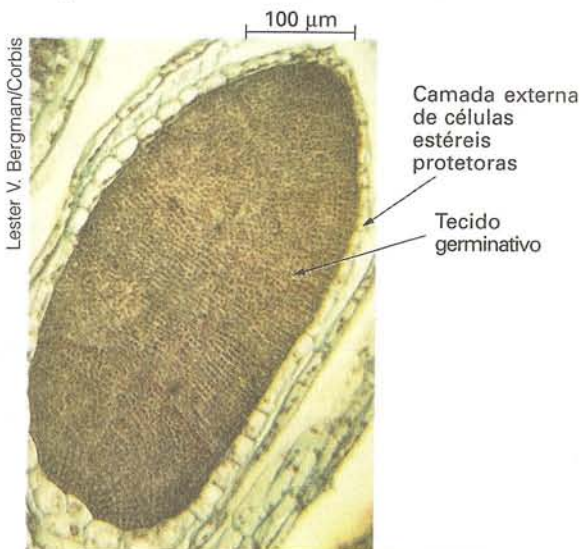
As plantas são organismos eucariontes fotossintetizantes, multicelulares, com diferenciação de tecidos.

O ramo da Biologia que estuda as plantas é a **Botânica**.

Acredita-se que as plantas tenham surgido a partir de um grupo ancestral de algas verdes, pois existem várias características que as aproximam, como a parede celular composta principalmente de celulose e a presença de clorofilas **a** e **b** em seus cloroplastos.

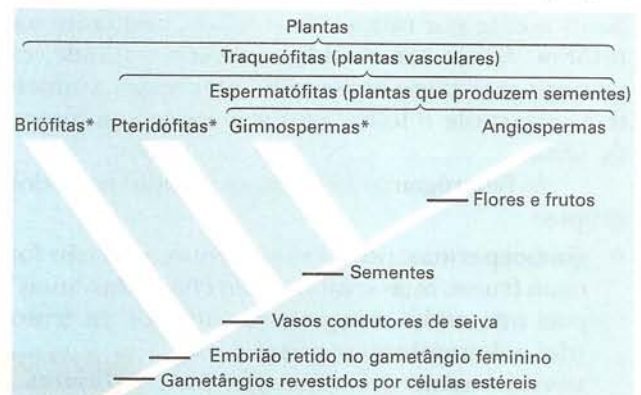
Na passagem evolutiva das algas verdes para as plantas, surgiram algumas características que se mantiveram por seleção natural, pois se revelaram muito adaptativas à vida no ambiente terrestre, possibilitando a expansão das plantas nesse ambiente. Duas dessas características, de grande importância, são:

- camada de células estéreis envolvendo e protegendo os **gametângios** (estruturas formadoras de gametas); tal camada não ocorre nos gametângios das algas;



Micrografia de corte histológico longitudinal corado de gametângio de hepática.

O cladograma a seguir mostra resumidamente alguns passos da evolução das plantas, que serão discutidos à medida que comentarmos os diferentes grupos:



* Representados por simplificação; não são grupos monofiléticos.

Cladograma simplificado das plantas.

Por razões didáticas, usamos:

- traços finos para representar o grupo monofilético, que pode ser considerado filo (ou divisão);
- traços grossos para representar os grupos não-monofiléticos, que **não** podem ser considerados filios.

Nesse cladograma empregamos termos de uso tradicional em Botânica que manteremos ao longo deste livro. Nas classificações mais recentes, os termos briófitas, pteridófitas e gimnospermas não se referem a categorias taxonômicas como filo, classe ou qualquer outra, mas permanecem válidos como termos coletivos, e essa será também a postura que adotaremos. As angiospermas, no entanto, podem ser consideradas um filo.

Tradicionalmente, as plantas têm sido divididas em dois grandes grupos:

- **criptógamas** (*cripto* = escondido; *gamae* = gametas): plantas que possuem as estruturas produtoras de gametas pouco evidentes. Exemplos: musgos e samambaias;
- **fanerógamas** (*fanero* = visível): plantas que possuem estruturas produtoras de gametas bem visíveis. Todas desenvolvem sementes e por isso são

- retenção do zigoto e dos estágios iniciais de desenvolvimento embrionário dentro do gametângio feminino, conferindo grande proteção ao embrião.

também denominadas **espermatófitas** (*sperma* = semente). Exemplos: pinheiros, mangueiras, roseiras e coqueiros.

As **criptógamas** dividem-se em dois grupos:

- **briófitas**: criptógamas que não possuem vasos especializados para o transporte de seiva; são plantas de pequeno porte. Exemplos: musgos e hepáticas;
- **pteridófitas**: criptógamas que possuem vasos condutores de seiva. Exemplos: samambaias e avenças.

Por possuírem vasos, as pteridófitas e todas as fanerógamas são chamadas **plantas vasculares** ou **traqueófitas** e são plantas de maior porte que as avasculares.

O corpo das plantas vasculares é constituído basicamente por raiz, caule e folhas, enquanto nas briófitas fala-se em rizóide, caulóide e filóide, estruturas externamente semelhantes respectivamente a raiz, caule e folha, mas sem vasos condutores de seiva.

As **fanerógamas** também são divididas em dois grupos:

- **gimnospermas**: possuem sementes, mas não formam frutos. Suas sementes são chamadas “nuas”, pois não estão abrigadas no interior de frutos (daí a denominação: *gimno* = nu; *sperma* = semente). Exemplo: pinheiro-do-paraíba;
- **angiospermas**: possuem sementes abrigadas no interior de frutos (daí a denominação: *angio* = urna; *sperma* = semente). Os frutos são resultantes do desenvolvimento do ovário da flor. São exemplos de angiospermas: mangueira, figueira, laranjeira.

O modo como ocorreu a evolução dos processos sexuais e dos ciclos de vida nas plantas foi de fundamental importância para a conquista do ambiente terrestre. Todas apresentam ciclo de vida do tipo haplonte-diplonte. Nesse tipo de ciclo há alternância de gerações (metagênese), em que a geração gametofítica se alterna com a esporofítica.

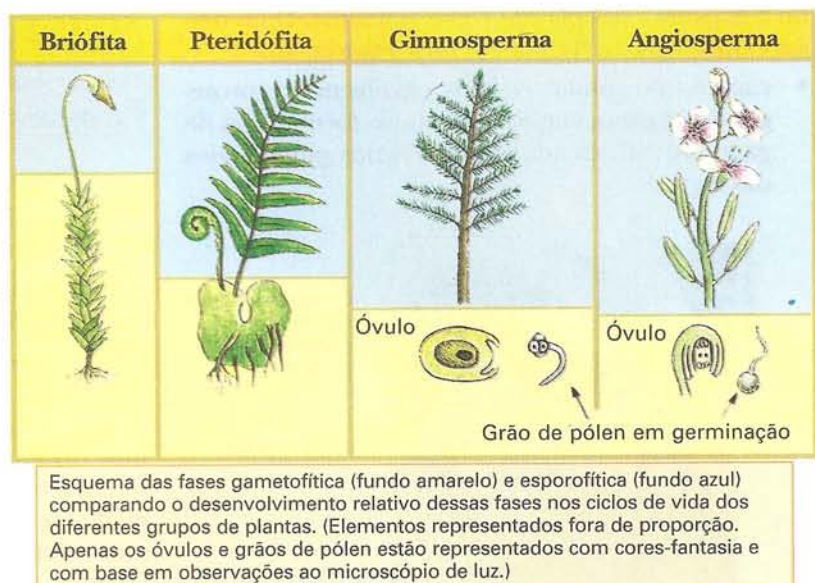
A geração gametofítica é formada por indivíduos chamados **gametófitos**, que são haplóides e produzem gametas por diferenciação celular e não por meiose. A geração esporofítica é composta de indivíduos chamados **esporófitos**, que são diplóides e produzem esporos por meiose.

Nas briófitas, a fase gametofítica (**n**) é sempre a mais desenvolvida, e a fase esporofítica (**2n**) cresce sobre a planta haplóide, dependendo dela para sua nutrição.

Nas pteridófitas, a fase esporofítica é a mais desenvolvida, além de ser independente da fase gametofítica, que é muito reduzida.

Nas gimnospermas e especialmente nas angiospermas, a fase gametofítica é extremamente reduzida, não ocorrendo alternância típica de gerações, pois não se formam indivíduos haplóides bem caracterizados: o gametófito feminino desenvolve-se no interior do **óvulo** e o masculino, no **grão de pólen**. Nessas plantas o óvulo não é o gameta feminino; ele constitui uma estrutura que abriga o gametófito feminino, que dará origem ao gameta feminino chamado **oosfera**.

Na evolução das plantas verifica-se, portanto, a redução da fase gametofítica e maior desenvolvimento da fase esporofítica.



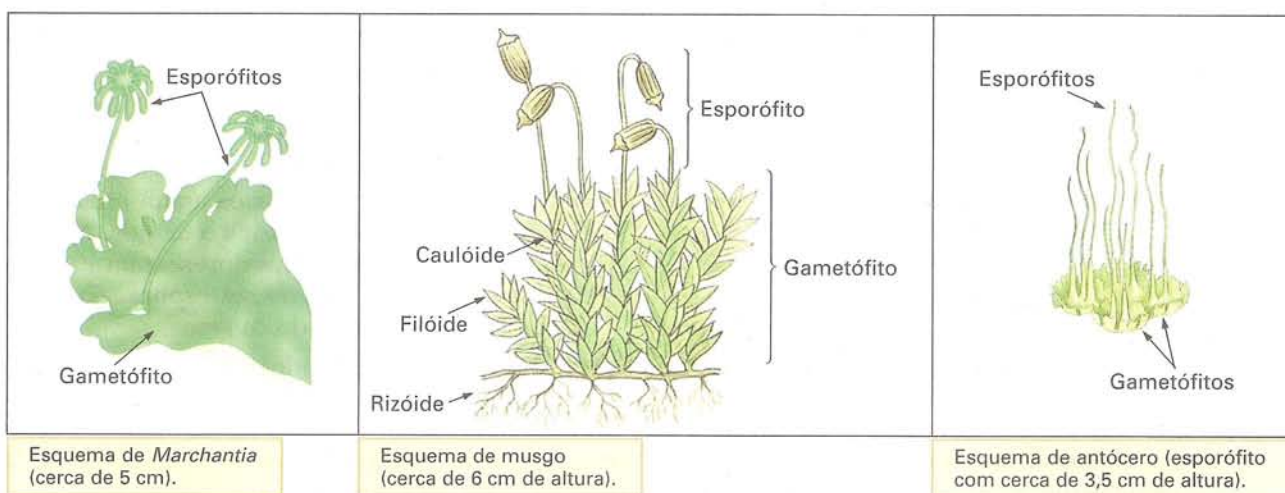
Vamos agora comentar os diferentes grupos de plantas.

2. Briófitas

As briófitas estão representadas pelos seguintes grupos:

- **hepáticas**: plantas de corpo achatado, fixadas ao solo por meio de rizóides (exemplo: *Marchantia*);
- **antóceros**: plantas com corpo multilobado;

- **musgos:** plantas que geralmente possuem, além dos rizóides, um eixo principal (caulóide) de onde partem os filóides.



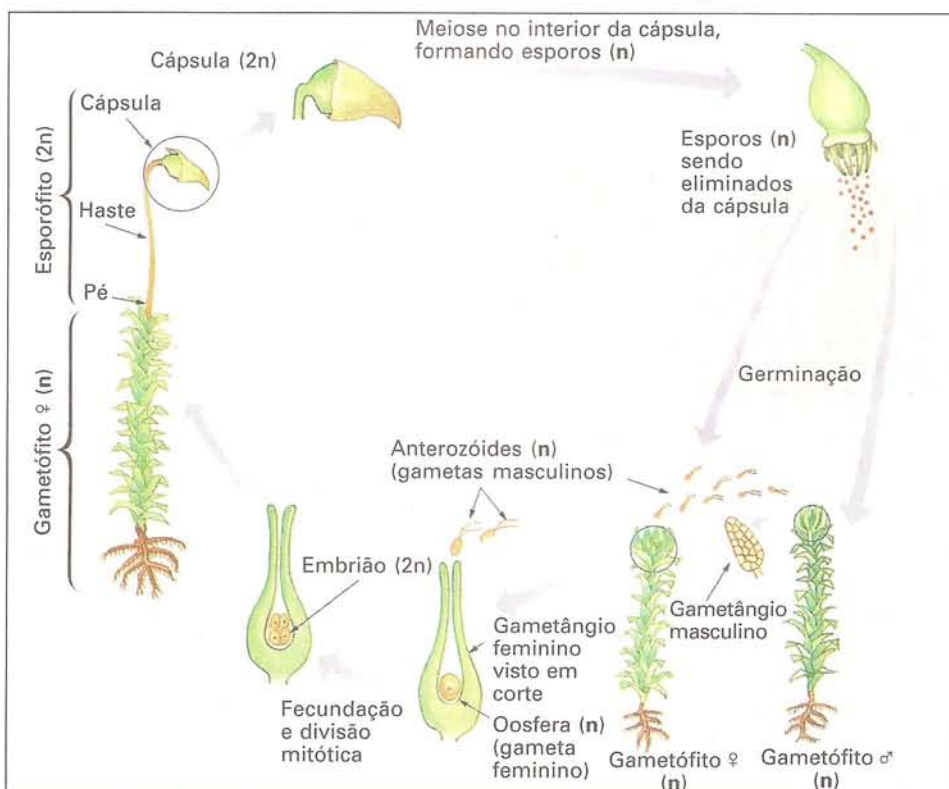
Nas briófitas, a água absorvida pelos rizóides é transportada de forma lenta pelo corpo, pois elas são avasculares. Essa característica limita o tamanho dessas plantas, que geralmente não ultrapassam 20 centímetros de altura.

As briófitas ocorrem preferencialmente em ambientes úmidos e abrigados da luz direta, pois não possuem estruturas adaptadas para evitar a transpiração intensa. Além disso, dependem da água para a reprodução sexuada, pois seus gametas masculinos são flagelados, deslocando-se apenas em

meio líquido até atingir os gametas femininos, que são imóveis.

Nos diversos grupos de plantas, o gameta feminino, chamado **oosfera**, é sempre imóvel. Já os gametas masculinos são flagelados nas briófitas e nas pteridófitas, recebendo nesses casos o nome de **anterozóides**. Nas gimnospermas e nas angiospermas, entretanto, eles não são flagelados e são chamados **células espermáticas**.

Analise a figura a seguir, que ilustra o ciclo de vida de um musgo.



Esquema simplificado do ciclo de vida de um musgo, uma briófitas. (Elementos representados fora de proporção, sendo alguns em cores-fantasia.)

3. Pteridófitas

As pteridófitas foram as primeiras plantas vasculares. A existência de vasos possibilitou o transporte rápido de água e sais minerais até as folhas, e de seiva elaborada das folhas para as demais partes da planta.

As pteridófitas foram também as primeiras plantas a apresentar tecidos de sustentação, o que permitiu que se mantivessem eretas.

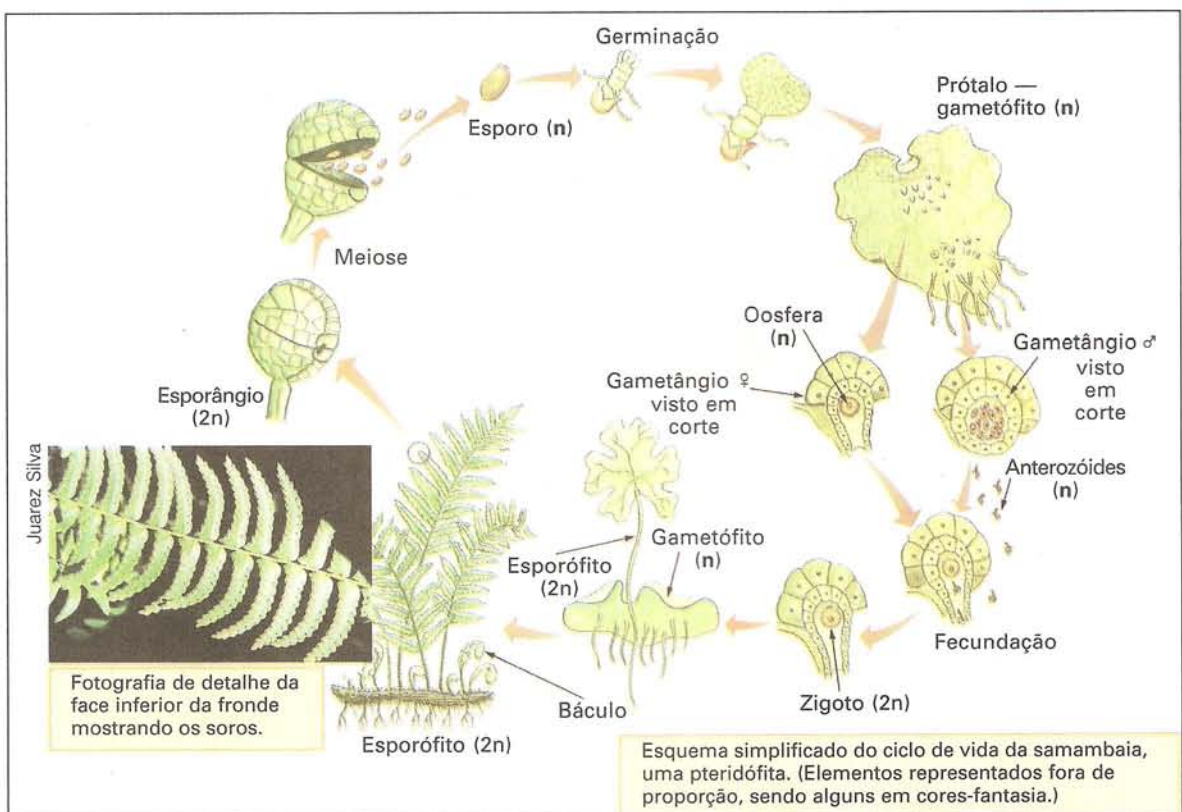
Os principais exemplos de pteridófitas são:

- ***Lycopodium* e *Selaginella*:** as espécies do gênero *Lycopodium* ocorrem desde as regiões árticas até as tropicais, e as do gênero *Selaginella* são muito comuns em matas tropicais, mas ocorrem também em regiões áridas e semi-áridas, como desertos e caatingas. Nestes casos os indivíduos permanecem em estado latente, só se reproduzindo quando há aumento na umidade do ar ou em épocas de chuva. Em função dessa característica, essas espécies

do gênero *Selaginella* são chamadas **plantas revivescetes**;

- **samambaias e avencas (filicíneas):** plantas comuns em regiões tropicais. As folhas jovens das filicíneas formam os **báculos**, designação que decorre da semelhança com os assim chamados bastões altos de extremidade recurvada. Na face inferior, as folhas maduras apresentam estruturas formadoras de esporos, os **esporângios**, que ficam reunidos formando os **soros**.

Os esporos são liberados e ao germinarem dão origem ao gametófito, que nesse grupo é denominado **prótalo**. Em um mesmo prótalo desenvolvem-se gametângios femininos e masculinos. Depois da fecundação da oosfera pelo anterozoíde, forma-se o embrião que dará origem ao esporófito, reiniciando o ciclo de vida.



4. Gimnospermas

A conquista definitiva do ambiente terrestre pelas plantas ocorreu com o surgimento de elementos que permitiram a fecundação sem a necessidade de água para o deslocamento do gameta masculino.

As primeiras traqueófitas que apresentaram essa condição foram as gimnospermas. Nelas, os esporófitos formam elementos ligados à reprodução sexuada, reunidos em **estróbilos**, ramos modificados com estruturas relacionadas com a reprodução sexuada.

Os estróbilos podem ser femininos ou masculinos. Em algumas espécies ocorrem os dois tipos no mesmo indivíduo, enquanto em outras os estróbilos femininos são formados em um indivíduo e os masculinos em outro, ou seja, os sexos são separados.

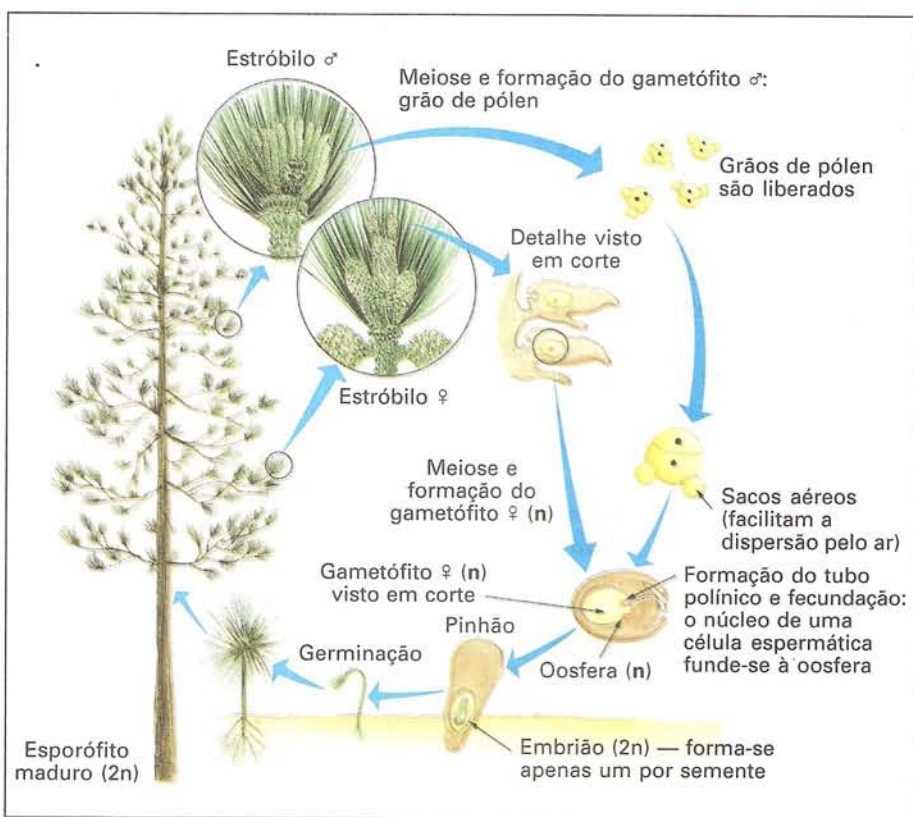
Nos estróbilos masculinos são formados os grãos de pólen, e no feminino é formado o óvulo.

O **grão de pólen** apresenta envoltório resistente abrigando o gametófito masculino imaturo, que formará os gametas masculinos. Esses grãos de pólen são transportados até o óvulo pelo vento (**anemofilia**).

Ao chegar ao óvulo, o grão de pólen desenvolve uma estrutura chamada **tubo polínico**, que corresponde ao gametófito masculino maduro e que leva o gameta masculino até o feminino no interior do óvulo.

Após a fecundação, surge o zigoto que dá origem ao embrião, e o óvulo transforma-se em **semente**. Nos pinheiros, a semente é popularmente conhecida por **pinhão**, e o estróbil feminino é denominado **pinha**.

As sementes protegem o embrião contra a dessecação e outros fatores adversos do meio. Isso contribui para aumentar sua sobrevivência e facilitar a dispersão das espécies, possibilitando que essas plantas ocupem mais amplamente o ambiente terrestre.



Esquema simplificado do ciclo de vida de *Pinus*, uma gimnosperma.
(Elementos representados fora de proporção, sendo alguns em cores-fantasia.)

Abundantes em regiões temperadas, as gimnospermas chegam a formar vegetações como as **florestas boreais (taiga)** no hemisfério Norte e a **mata de araucária** na região Sul do Brasil. A mata de araucária, que ocorria desde o Paraná até o Rio Grande do Sul, está atualmente muito reduzida em função, principalmente, da exploração da madeira do pinheiro-do-paraná (espécie *Araucaria angustifolia*), planta predominante nessa mata.

São também exemplos de gimnospermas as **cicas** e a ***Ginkgo biloba***. Esta última é uma árvore que pode chegar a 30 metros de altura, com folhas em forma de leque, e que possui propriedades medicinais no tratamento de problemas vasculares, além de ser muito utilizada como planta ornamental em parques e jardins de regiões temperadas.

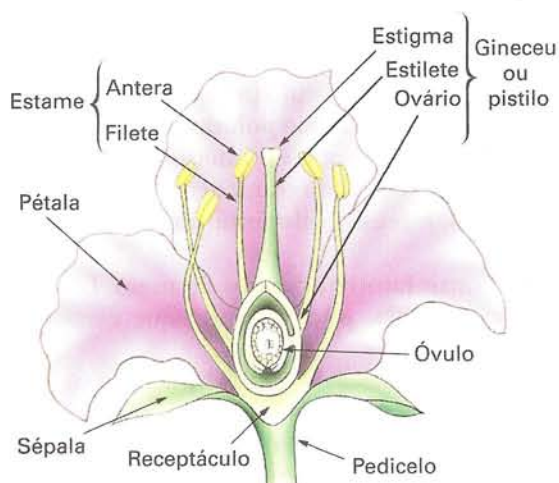
5. Angiospermas

Nas angiospermas os elementos relacionados com a reprodução sexuada encontram-se reunidos nas **flores**.

As flores completas são formadas por **pedicelo** ou **pedúnculo** e um **receptáculo**, onde se inserem os **verticilos florais**:

- **cálice**: conjunto de sépalas, geralmente verdes;
- **corola**: conjunto de pétalas, que podem apresentar várias cores;
- **androceu**: formado pelos estames (constitui o sistema reprodutor masculino);
- **gineceu**: formado pelo pistilo ou carpelo (constitui o sistema reprodutor feminino).

O conjunto cálice-corola é denominado **perianto**.



Esquema de flor completa de angiosperma vista em corte. (Cores-fantasia.)

Quanto ao sistema reprodutor, há flores que apresentam apenas o androceu ou o gineceu, sendo, portanto, flores masculinas ou flores femininas, respectivamente. A maioria delas, entretanto, possui androceu e gineceu, mas nelas geralmente se desenvolvem mecanismos que dificultam a autofecundação.

O **estame** é uma folha modificada em cuja extremidade diferencia-se a **antera**, no interior da qual se formam os grãos de pólen.

Ao contrário dos grãos de pólen das gimnospermas, que só podem ser transportados pelo vento, os das angiospermas podem ser transportados também por animais, dependendo da espécie de planta.

Nas espécies em que a polinização é feita pelo vento, as flores apresentam estigmas plumosos e são em geral pouco vistosas. A maioria das angiospermas, entretanto, apresenta polinização por animais, principalmente insetos (**entomofilia**), aves (**ornitofilia**) e morcegos (**quiropterofilia**). Nesses casos, as flores são vistosas ou apresentam odor característico, o que atrai os animais.

As flores geralmente possuem **nectários**, estruturas que produzem o **néctar**, um líquido nutritivo que serve de alimento para insetos e pássaros. Ao se alimentarem do néctar, esses animais acabam atuando como elementos polinizadores.

O **pistilo** é formado por uma ou mais folhas modificadas, que se fundem dando origem a duas partes:

- uma porção basal dilatada, denominada **ovário**, que contém o óvulo, no qual se desenvolve o

gametófito feminino que forma a oosfera (gameta feminino);

- uma porção alongada, denominada **estilete**, cujo ápice é o **estigma**.

Após a polinização, inicia-se a germinação do grão de pólen: forma-se o **tubo polínico**, que leva até o gametófito feminino duas células espermáticas. Uma delas une-se à oosfera, formando o zigoto que, por várias divisões mitóticas, dá origem ao **embrião**. A outra une-se a dois núcleos n do gametófito feminino (núcleos polares), formando um núcleo $3n$, que dará origem a um tecido nutritivo chamado **endosperma**. Fala-se, então, em dupla fecundação, uma característica exclusiva das angiospermas.

Com o desenvolvimento do embrião, os tecidos do óvulo tornam-se desidratados e impermeáveis, e a estrutura toda passa a ser denominada **semente**. Assim, a semente nada mais é que o óvulo desenvolvido após a fecundação.

Em algumas angiospermas, o endosperma é digerido pelo embrião antes de entrar em dormência. O endosperma digerido é transferido e armazenado geralmente nos **cotilédones**, folhas embrionárias que se tornam, assim, ricas em reservas nutritivas. Isso ocorre, por exemplo, em feijões, ervilhas e amendoins.

À medida que a semente se forma, a parede do ovário também se desenvolve, dando origem ao **fruto**. Este é formado, portanto, pelo desenvolvimento do ovário.

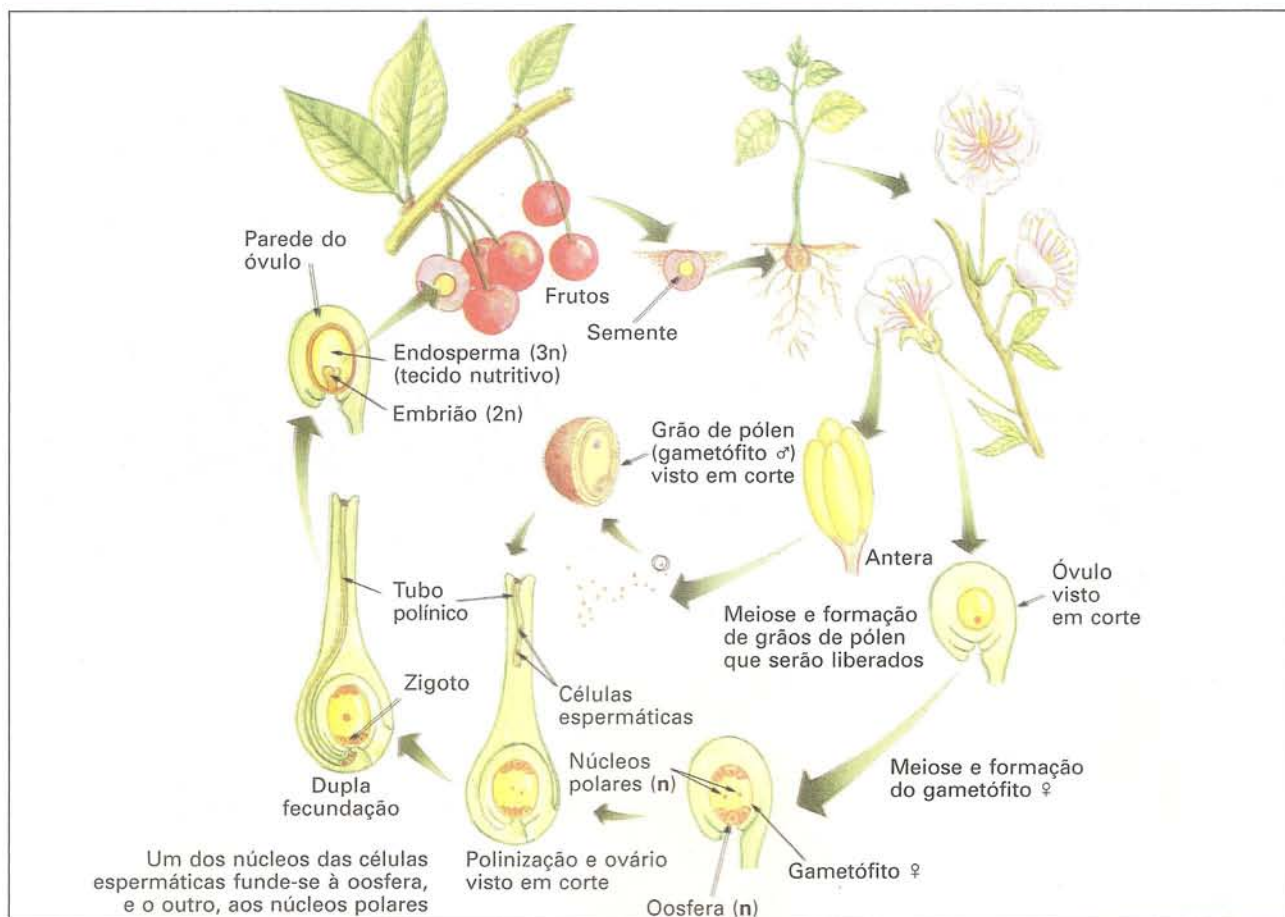
Ao germinar, a semente dá origem à planta jovem (**plântula**), que por sua vez origina a planta adulta. (Veja esquema na página seguinte.)

A proteção oferecida pelos frutos às sementes favoreceu muito a dispersão destas, a ponto de tornar as angiospermas as plantas mais abundantes em número de espécies. Elas ocorrem em ampla diversidade de habitats, existindo desde espécies aquáticas, inclusive marinhas, até espécies adaptadas a ambientes áridos, como os cactos.

As angiospermas são divididas em dois grandes grupos: **monocotiledôneas**, como o milho, e **dicotiledôneas**, como o feijão.

A característica que dá nome a esses grupos é o número de cotilédones presentes na semente: as monocotiledôneas possuem um cotilédone na semente, e as dicotiledôneas possuem dois cotilédones na semente.

Além do número de cotilédones, há outras características que permitem distinguir as monocotiledôneas das dicotiledôneas. É o que mostra resumidamente o quadro da página seguinte.



Esquema simplificado do ciclo de vida de uma angiosperma. (Elementos representados fora de proporção, sendo alguns em cores-fantasia.)

	Monocotiledôneas	Dicotiledôneas
Cotilédones	Um cotilédono Embrião	Dois cotilédones Embrião
Folhas	Nervuras paralelas e folhas invaginantes Nervuras	Nervuras reticuladas e folhas pecioladas Pecíolo
Flores	Compostas de 3 elementos ou seus múltiplos (flores trímeras)	Compostas de 4 ou 5 elementos ou seus múltiplos (flores tetrâmeras ou pentâmeras, respectivamente)
Frutos	Frutos com 3 lojas (ou múltiplos)	Frutos com 2 ou 5 lojas (ou múltiplos)
Estrutura interna do caule	Feixes vasculares espalhados pelo caule.	Feixes vasculares dispostos em torno de um cilindro central.
Sistema radicular	Fasciculado	Pivotante
Exemplos	Alho, cebola, aspargo, abacaxi, íris, bambu, grama, arroz, trigo, centeio, aveia, cana-de-açúcar, milho, gengibre e palmeiras em geral: coco-da-baía, babaçu etc.	Vitória-régia, eucalipto, rosa, morango, pêra, maçã, feijão, ervilha, goiaba, jabuticaba, algodão, cacau, laranja, mamão, maracujá, cacto, mandioca, seringueira, tomate, café.

(Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

6. Reprodução assexuada

Além da reprodução sexuada, as plantas podem apresentar reprodução assexuada, sendo a forma mais comum a **propagação vegetativa**. Essa forma de reprodução ocorre principalmente a partir de caules, pois eles apresentam **botões vegetativos** ou **gemas**, que podem formar raízes e toda uma nova planta.

Em alguns casos, as folhas também podem dar origem a novos indivíduos, como se pode observar na fortuna e na begônia.

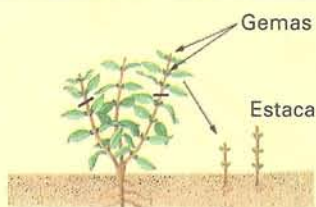
Conhecendo essas formas naturais de reprodução das plantas, vários mecanismos de propagação vegetativa já foram desenvolvidos pelo ser humano, dos quais os mais utilizados são: **estaquia**, **mergulhia**, **alporquia** e **enxertia**.



Felipe F. Curcio

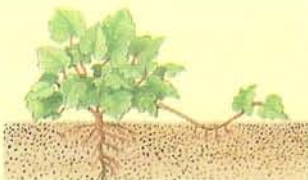
Fotografia de folha produzindo várias novas plantas. Quando essas plantas jovens atingem certo tamanho, desprendem-se e caem no solo, onde desenvolvem raízes. A folha mede cerca de 6 cm de comprimento.

Estaquia



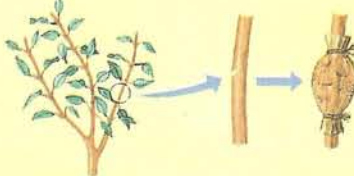
Reprodução por meio de estacas, que são ramos caulinares cortados contendo gemas. A extremidade cortada de estaca deve ser enterrada no solo, e a gema apical deve ser removida para não interferir na “pega” da muda ou da estaca, pois a gema apical inibe o desenvolvimento das gemas laterais.

Mergulhia



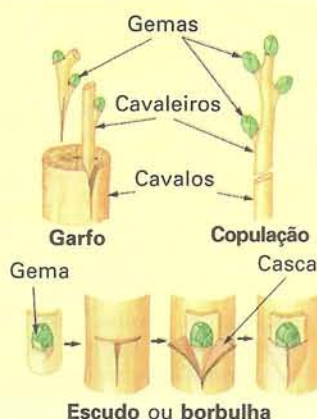
Mantém-se parte de um ramo da planta enterrado até que se formem raízes. Isso ocorrendo, separa-se o ramo com as raízes, plantando-o a seguir.

Alporquia



Faz-se um pequeno corte em um ramo, colocando nesse local terra úmida envolta por um saco ou uma lata, preso ao ramo. Deixa-se até enraizar e então separa-se o ramo com as raízes, plantando-o a seguir.

Enxertia



É o transplante de uma muda, chamada cavaleiro ou enxerto, em outra planta provida de raízes, denominada cavalo ou porta-enxerto. O cavalo deve ser feito com uma planta da mesma espécie do cavaleiro ou de espécies próximas. Na enxertia é importante que o cavaleiro tenha mais de uma gema e que o câmbio (tecido meristemático) do cavalo entre em contato com o câmbio do cavaleiro. Além disso, devem-se retirar as gemas do cavalo para evitar que a seiva seja conduzida a elas e não às gemas do cavaleiro. Alguns dos diferentes tipos de enxertia estão esquematizados ao lado.

Dentre esses mecanismos, a enxertia é o modo mais utilizado. Essa técnica é vantajosa por vários motivos, dos quais se destacam os seguintes:

- a muda (cavaleiro) já encontra um cavalo muni-
do de raízes e, com isso, o desenvolvimento é mais rápido;
- podem-se selecionar plantas com raízes resis-
tentes a certas doenças e utilizá-las como cavalo. Com
isso, a reprodução vegetativa de espécies sensí-
veis a essas doenças torna-se mais eficiente.

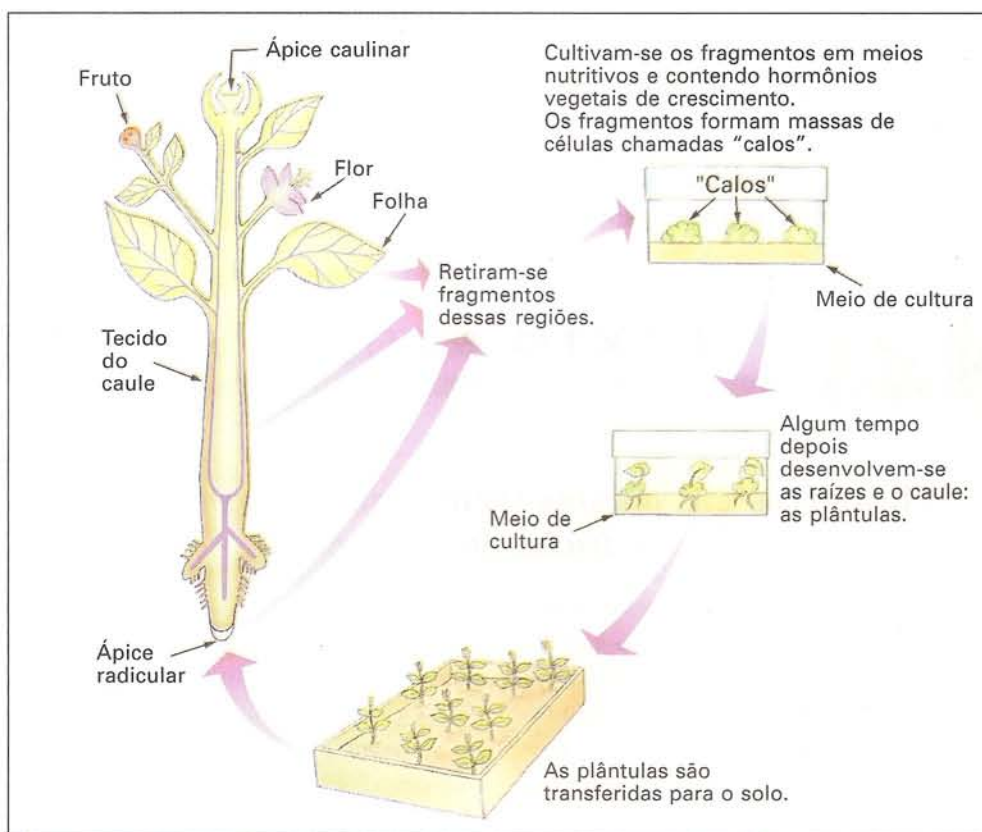
Atualmente, uma técnica cada vez mais utili-
zada é a da propagação vegetativa por cultura de
tecidos.

Teoricamente, qualquer célula nucleada da

planta que não esteja envolta por parede celular
espessa é potencialmente capaz de regenerar um
organismo inteiro. Em função dessa característica,
diz-se que as células vegetais são **totipotentes** (*totus* =
inteiro).

A partir de células ou de tecidos e órgãos se-
parados dos corpos das plantas podem-se fazer cul-
turas em laboratório e regenerar plantas inteiras.
Nesses meios de cultura são adicionadas substâncias
nutritivas e hormônios vegetais responsáveis pelo
crescimento e pela diferenciação das plantas.

O esquema a seguir apresenta de forma
simplificada como pode ser feita a cultura de teci-
dos vegetais em laboratório.



Esquema simplificado dos procedimentos para cultura de tecidos em laboratório. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Atualmente tem sido possível modificar o material genético de plantas de interesse comercial por meio de técnicas especiais que integram a chamada **Engenharia genética** ou **tecnologia do DNA recombinante**.

Nesses casos, introduzem-se nas células das plantas trechos da molécula de DNA de outros organismos, como bactérias. Esses trechos são incorporados ao DNA da planta, que fica alterada geneticamente: são as **plantas transgênicas**.

Os segmentos de DNA introduzidos nas plantas são escolhidos visando desenvolver novas características que tragam algum benefício para o cultivo comercial dessas plantas.

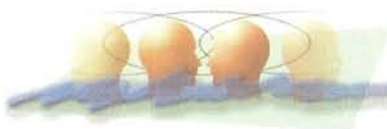
Técnicas de cultura de tecidos são utilizadas para o crescimento inicial das plantas transgênicas.

A produção dessas plantas tem provocado muitas discussões, divulgadas pelos diferentes meios de comunicação, a respeito de riscos que podem causar ao ser humano e ao meio ambiente.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Comente como deve ter ocorrido a passagem evolutiva das algas verdes para as plantas terrestres, considerando as principais adaptações relacionadas com a reprodução, com a perda de água e com o transporte de água pelo corpo.
2. Compare os ciclos de vida das plantas com relação à predominância das fases esporofítica e gametofítica e com relação à presença de gametas masculinos flagelados.
3. Nas gimnospermas e nas angiospermas, o gametófito masculino imaturo corresponde ao grão de pólen e o maduro corresponde ao grão de pólen germinado, com tubo polínico e com as células espermáticas. Compare a fecundação em angiospermas e em gimnospermas.
4. Comente a importância evolutiva do surgimento dos frutos para as plantas, considerando que a maioria que vive hoje em nosso planeta pertence ao grupo das angiospermas.
5. Com base em seus conhecimentos sobre reprodução, comente as vantagens e as desvantagens da reprodução assexuada e da sexuada para as plantas. Comente também as vantagens e desvantagens da aplicação de técnicas de propagação vegetativa de plantas na agricultura.
6. Explique o significado dos seguintes termos: criptógamas, fanerógamas, traqueófitas, gimnospermas, angiospermas, espermatófitas.
7. Conceitue: anterozóide, célula espermática e oosfera.
8. Faça um desenho esquemático de uma flor completa, indicando os seus componentes.
9. Explique como ocorre a polinização nas gimnospermas e nas angiospermas.
10. Diga como se formam a semente e o fruto nas angiospermas.
11. Aponte as diferenças entre monocotiledôneas e dicotiledôneas e dê exemplos.
12. Descreva resumidamente os processos de estaquia, mergulhia, alporquia, enxertia e cultura de tecidos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Impactos das plantas transgênicas no sistema de produção de alimentos

A palavra transgênico está cada vez mais presente no dia-a-dia dos que se vêem obrigados a optar pela aceitação ou não de produtos sobre os quais pouco conhecem. De um lado, há a promessa de um futuro ambientalmente mais saudável e de uma agricultura mais produtiva; de outro, a ansiedade gerada pela pouca informação acerca da qualidade dos produtos transgênicos e pelo medo do desconhecido, inerente a todos os seres humanos.

Polêmicas à parte, o fato é que o Brasil terá de produzir alimentos suficientes para uma população duas vezes maior nas próximas décadas e isso certamente não será possível sem a expansão intensiva da fronteira agrícola e de migrações em massa, o que resultaria em impactos graves em nossa biodiversidade.

Os resultados da biotecnologia na área agrícola têm apresentado evidências de que os produtos geneticamente modificados podem contribuir para um aumento de 15 a 25% na produtividade de ali-

mentos nos próximos anos. Portanto, podem representar uma opção viável para enfrentar os desafios alimentares das próximas décadas, aliados à utilização de outras tecnologias.

A demanda por produtos da biotecnologia agrícola deverá aumentar significativamente em relação à utilização das plantas transgênicas. Atualmente, os produtos disponíveis estão associados à produção de plantas transgênicas contendo características que lhes conferem valores endógenos, como genes de tolerância a herbicidas e resistência a doenças. Entretanto, a tendência é que avance também a geração de plantas com características que lhes confirmam valores exógenos, como a manipulação dos teores de óleos, vitaminas e minerais essenciais, bem como a utilização das plantas como biorreatores para que produzam, por exemplo, anticorpos e vacinas. Isso possibilitaria a expansão da participação da agricultura para o mercado farmacêutico.

Não existem produtos convencionais na base da alimentação da sociedade denominada moderna. A quase totalidade dos produtos que compõem nossa base alimentar sofreu manipulações, ou seja, cruzamentos intra e interespecies em que ocorreram seleção e mutações de genes; portanto, seu estado natural vem sendo manipulado pelo ser humano há muitos séculos. Apesar disso, a equivalência entre os produtos geneticamente modificados, denominada equivalência substancial, tem sido atualmente discutida, principalmente com a função de regulamentar uma rotulagem ou não. O que necessita ser incrementado é a discussão referente à composição dos produtos geneticamente modificados em relação aos produtos não-modificados.

Quanto ao efeito direto da utilização de organismos geneticamente modificados como produtos de alimentação, existem alguns pontos principais que devem ser considerados. A maioria das questões levantadas em relação aos alimentos transgênicos, no entanto, pode ser igualmente aplicável a alimentos denominados “tradicionais”:

1. Existe algum perigo inerente em relação à utilização da tecnologia do DNA recombinante por si só?
2. Seus produtos derivados podem significar algum perigo aos consumidores?

Não existem evidências que possam sugerir que alimentos advindos da tecnologia do DNA recombinante possuam algum risco inerente. Contudo, medidas práticas devem ser tomadas, do ponto de vista de segurança, contra reais ou hipotéticas possibilidades de riscos, e devem estar associadas a:

- monitoramento do conhecimento científico;

- rigorosa avaliação de segurança alimentar antes que o produto chegue ao mercado;
- incremento das pesquisas de forma a aumentar o entendimento de alimentos geneticamente modificados;
- monitoramento da saúde humana e animal, assegurando qualquer possível efeito adverso inesperado;
- monitoramento ambiental, de modo a coletar informações sobre os impactos derivados da liberação dos transgênicos no meio ambiente.

Os benefícios que os produtos transgênicos podem oferecer para a sociedade dividem-se em indiretos e diretos. Como exemplo de benefício indireto pode-se citar uma planta transgênica resistente a insetos, que evita ou reduz a utilização de inseticidas. Será um benefício direto para o meio ambiente e indireto para o ser humano. Outro exemplo são as plantas transgênicas de mamão resistentes a vírus. Essas plantas deverão possibilitar o cultivo de mamão de modo não-migratório, reduzindo desnecessária expansão da fronteira agrícola e gerando, conseqüentemente, benefícios para o produtor e o meio ambiente. Destacam-se ainda as plantas transgênicas com alto teor de vitaminas E e A e outras vitaminas e minerais, além de plantas que produzem fármacos em larga escala a baixo custo, como o hormônio de crescimento e a insulina. Esses são apenas alguns exemplos dos benefícios da utilização da tecnologia do DNA recombinante para nossa sociedade.

Adaptado de: *Biotechnology, Ciência & Desenvolvimento*, ano II, nº 13, 2000.

- Considerando opiniões de pesquisadores favoráveis e desfavoráveis ao cultivo de plantas transgênicas, discuta as vantagens e desvantagens desses organismos considerando impactos ecológicos e produção de alimento.



TESTES

1. (UFPE) O Reino Vegetal foi dividido informalmente em dois grandes grupos: Criptógamos e Fanerógamos, considerando-se principalmente os aspectos reprodutivos. Abaixo, há uma série de exemplos de vegetais, identificados por algarismos e algumas de suas principais características:

- 1) Plantas vasculares, com sementes, porém sem frutos.
- 2) Plantas com sistema condutor de seiva, com flores, sementes e frutos.
- 3) Plantas com sistema condutor, com raízes e sem sementes.
- 4) Plantas avasculares, com rizóides e sem sementes.

As características descritas pelos algarismos de 1 a 4 representam, respectivamente:

- | | |
|--|--|
| a) gimnospermas, angiospermas, pteridófitas e briófitas. | d) angiospermas, gimnospermas, pteridófitas e briófitas. |
| b) pteridófitas, angiospermas, gimnospermas e briófitas. | e) angiospermas, gimnospermas, briófitas e pteridófitas. |
| c) pteridófitas, angiospermas, briófitas e gimnospermas. | |

2. (UFPB) Entre as adaptações dos vegetais à vida terrestre, uma das mais importantes está relacionada com o desenvolvimento da reprodução sexuada independente do meio aquático. Sob este aspecto, os vegetais terrestres que conseguiram superar a dependência da água para a fecundação dos gametas foram apenas as:

- pteridófitas.
- gimnospermas.
- briófitas.
- angiospermas.
- gimnospermas e angiospermas.

3. (PUC-RJ) Indique o grupo de vegetais que apresenta semente:

- Pinheiros, leguminosas e gramíneas.
- Avencas, bromélias e cítricos.
- Samambaias, pinheiros e orquídeas.
- Leguminosas, algas e gramíneas.
- Cítricos, cactáceas e cogumelos.

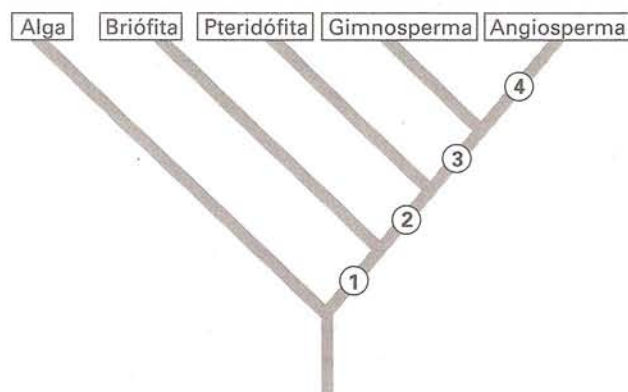
4. (Cefet-MG) Raízes, caules, flores, folhas, sementes e frutos estão presentes **apenas** nas:

- gimnospermas.
- coníferas.
- briófitas.
- pteridófitas.
- angiospermas.

5. (PUC-RS) São vegetais que apresentam estruturas chamadas rizóides, as quais, servindo à fixação, também se relacionam à condução da água e dos sais minerais para o corpo da planta. Apresentam sempre pequeno porte, em decorrência da falta de um sistema vascular. Nenhum dos seus representantes é encontrado no meio marinho. O texto acima se aplica a um estudo:

- das pteridófitas.
- dos mixofitos.
- das briófitas.
- das clorofitas.
- das gimnospermas.

6. (Fuvest-SP)



O diagrama anterior representa as relações filogenéticas entre as algas e os principais grupos de plantas atuais. Cada círculo numerado indica uma aquisição evolutiva compartilhada apenas pelos grupos representados nos ramos acima desse círculo. Por exemplo, o círculo 1 representa “embrião dependente do organismo genitor”, característica comum a todos os grupos, exceto ao das algas. Os círculos de número 2, 3 e 4 representam, respectivamente:

- alternância de gerações, fruto, semente.
- alternância de gerações, tecidos condutores, fruto.
- tecidos condutores, fruto, flor.
- tecidos condutores, semente, fruto.
- semente, flor, tecidos condutores.

7. (UFSC) Qual das alternativas apresenta uma distinção correta entre pteridófitas e gimnospermas?

	Características	Pteridófitas	Gimnospermas
a)	Meiose	Apresentam	Não apresentam
b)	Semente	Não apresentam	Apresentam
c)	Xilema e floema	Não apresentam	Apresentam
d)	Dominância da geração diplóide	Não apresentam	Apresentam
e)	Alternância de gerações haplóide e diplóide	Apresentam	Não apresentam

8. (UFPI) Em regiões de clima úmido, como serras, encontramos muitos vegetais como samambaias e avencas, designados como pteridófitas. A característica fisiológica que aproxima esse grupo vegetal das angiospermas é:

- a presença de raiz.
- o transporte da seiva por vasos condutores.
- o crescimento de frutos.
- o desenvolvimento de um caule.
- a formação de sementes.

9. (UFF-RJ) A polinização é um pré-requisito para a fertilização e produção de sementes. Indique a opção que se refere, **incorretamente**, a esse processo.

- Nas gimnospermas, a polinização corresponde ao transporte do grão de pólen desde o microsporângio até a micrópila do óvulo.
- Nas angiospermas e gimnospermas, a polinização é o transporte do grão de pólen — gameta masculino — até o óvulo da flor — gameta feminino.
- Nas angiospermas, a polinização ocorre tanto por zoofilia, o que aumenta a frequência de fecundação cruzada, quanto por anemofilia.
- Nas gimnospermas, a polinização ocorre, geralmente, por anemofilia.
- Nas angiospermas, a polinização é o transporte do grão de pólen desde as anteras até o estigma da flor.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFSCar-SP) O grande sucesso das gimnospermas e das angiospermas pode ser atribuído a duas importantes adaptações ao ambiente terrestre. Responda:

- Quais são estas duas adaptações?
- Qual dessas adaptações permitiu a classificação das fanerógamas em gimnospermas e angiospermas? Justifique.

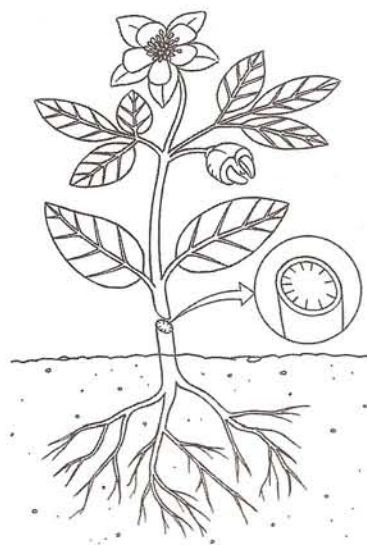
2. (Unicamp-SP) O projeto “Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo”, financiado pela Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), envolveu diversas instituições de pesquisa e ensino. O levantamento realizado no Estado comprovou a existência de cerca de oito mil espécies de fanerógamas.

- Cite duas características exclusivas das fanerógamas.
- As fanerógamas englobam dois grupos taxonomicamente distintos, sendo que um deles é muito freqüente no Estado e o outro representado por um número muito pequeno de espécies nativas. Qual dos grupos é pouco representado?
- Que outro grupo de plantas vasculares não foi incluído nesse levantamento?

3. (UFPB) Suponha que você tenha que classificar as angiospermas de uma reserva florestal. Sabe-se que a classificação leva em consideração o número de cotilédones da semente. Dependendo da época do ano, algumas plantas não apresentam sementes ou, se apresentam, são muito reduzidas, sendo difícil observar se existe um ou dois cotilédones. No entanto, é possível fazer a classificação pela observação de outras partes da planta.

Observando o desenho ao lado, feito por alguém que tenha retornado da floresta:

- classifique a planta;
- descreva, sucintamente, três características que determinaram a sua classificação.



4. (UFRJ) As flores que se abrem à noite, como por exemplo a dama-da-noite, em geral exalam um perfume acentuado e não são muito coloridas. As flores diurnas, por sua vez, geralmente apresentam cores mais intensas. Relacione essa adaptação ao processo de reprodução desses vegetais.

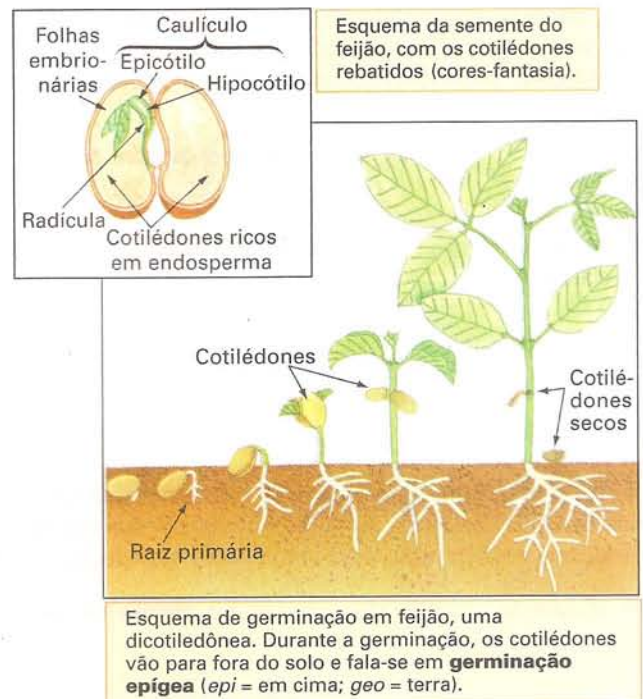
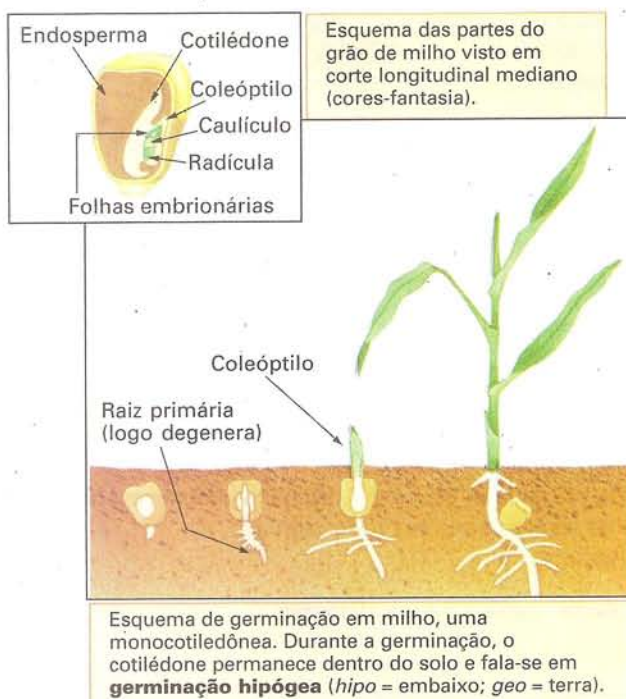
5. (Fuvest-SP) “O grão de pólen não é o gameta masculino da planta.” Justifique essa afirmativa.

Histologia, anatomia e morfologia das angiospermas

1. A planta em desenvolvimento

Vamos iniciar agora o estudo da anatomia das angiospermas a partir do momento em que ocorre a germinação das sementes.

Vários fatores concorrem para a germinação, dentre eles a entrada de água na semente por um processo físico denominado **embebição**. Isso promove o aumento de volume da semente e o rompimento de seu tegumento. O embrião cresce e a primeira parte de seu corpo que emerge é a **radícula** (raiz embrionária), que dará origem à raiz primária. A seguir, emergem o **caulículo** (caule embrionário) e as **folhas embrionárias**.



No milho e em outras monocotiledôneas, o ápice do caulículo é protegido por uma bainha celular denominada **coleóptilo**. No feijão e em outras dicotiledôneas não há coleóptilo.

À medida que a planta se desenvolve, ela vai consumindo as reservas contidas na semente, ao mesmo tempo em que novas folhas se formam e começam a realizar fotossíntese.

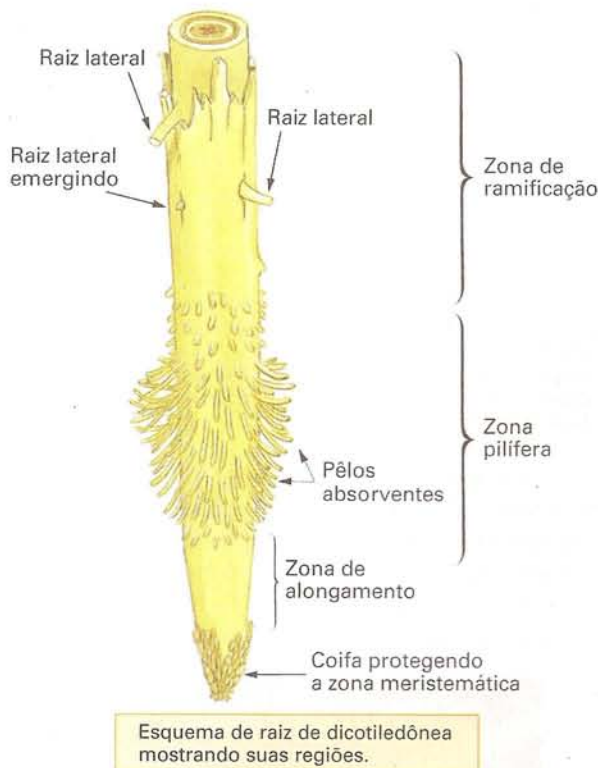
A planta jovem, com suas raízes absorvendo água e sais minerais do solo e com suas folhas verdes sintetizando alimento, apresenta todos os tecidos e órgãos necessários para sua sobrevivência e crescimento.

2. A planta em crescimento

O crescimento em comprimento da planta depende em parte da atividade dos meristemas apicais. Neles, a atividade mitótica é intensa, propiciando aumento do número de células.

A zona meristemática das raízes é protegida pela **coifa**, estrutura com aspecto de capuz e formada por células vivas. A seguir, existe a **zona lisa** ou de **alongamento**, onde as células formadas na zona

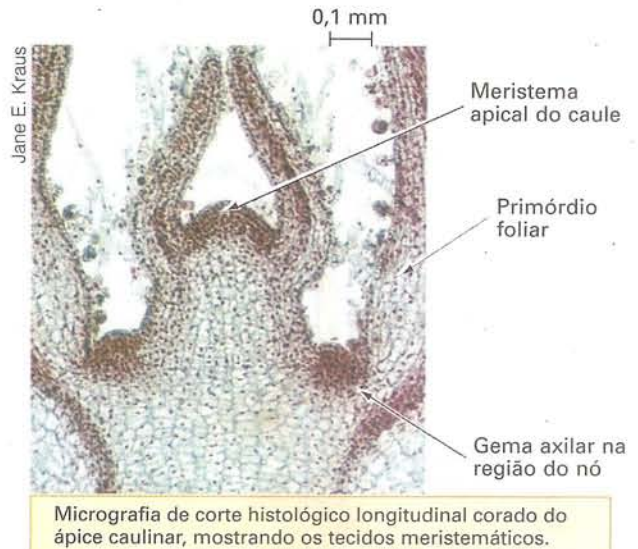
meristemática passam por um processo de alongamento — principal responsável pelo crescimento em comprimento da raiz. Depois vem a **zona pilífera**, onde estão os pêlos absorventes, correspondendo à região da raiz na qual ocorre a absorção de água e de nutrientes do meio. A partir do início da zona pilífera não se verifica mais aumento do comprimento da raiz e observa-se a **zona de ramificações**, onde surgem as raízes laterais.



No caule não há coifa e o meristema apical, chamado **gema apical**, é muitas vezes protegido por folhas modificadas. No caule existem também as gemas **laterais** ou **axilares**, que originam os ramos. Nas raízes não existem gemas axilares, e as ramifica-

ções surgem a partir de um tecido interno, como veremos mais adiante.

A região do caule de onde partem as folhas e as gemas axilares é denominada **nó**. Nós sucessivos são formados inicialmente muito próximos entre si. Gradualmente, ocorre alongamento das células entre dois nós consecutivos, que ficam separados por uma região caulinar denominada **entrenó**.



É devido ao alongamento das células dos entrenós que ocorre o crescimento em comprimento do caule. Esse alongamento ocorre, em geral, apenas nas porções apicais dos caules. Em alguns casos, como em gramíneas, persiste na base de cada entrenó uma região meristemática denominada **meristema intercalar**. Nessas plantas, o crescimento em comprimento do caule não fica restrito às suas porções terminais, pois o meristema intercalar contribui para o alongamento de entrenós distantes do ápice caulinar.

Nas dicotiledôneas e em algumas monocotiledôneas, além do crescimento em comprimento pode haver o crescimento em espessura.

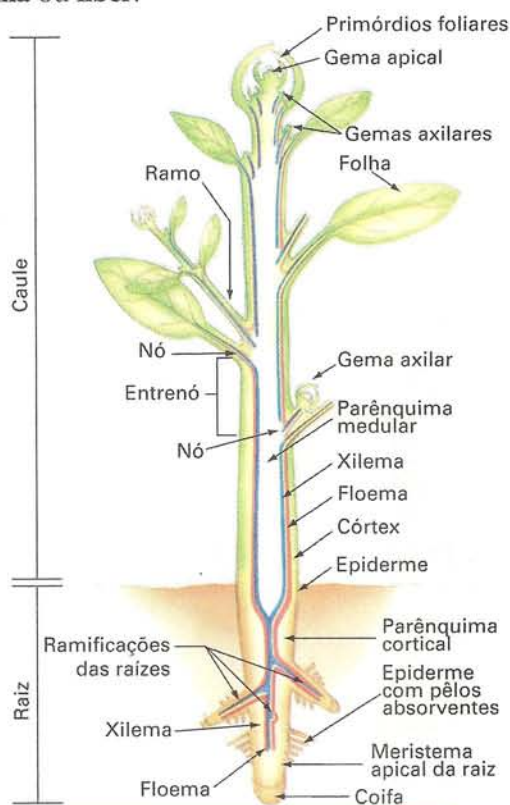
3. Os tecidos primários das angiospermas

A partir dos meristemas apicais formam-se os meristemas primários, que são a **protoderme**, o **meristema fundamental** e o **procâmbio**. Os tecidos derivados desses meristemas são denominados **tecidos primários** e são responsáveis pelo crescimento em comprimento das plantas, chamado **crescimento primário**.

A protoderme origina a **epiderme**, tecido que reveste o corpo da planta, impede a perda excessiva de água e permite trocas de gases necessários à respiração e à fotossíntese.

O meristema fundamental dá origem aos tecidos fundamentais da planta, representados basicamente pelos **parênquimas** (que podem ser de vários tipos), pelo **colênquima** e pelo **esclerênquima**.

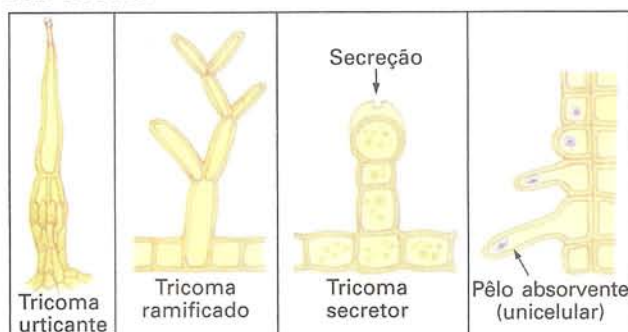
O procâmbio origina o sistema vascular primário, que compreende o **xilema** ou **lenho** e o **floema** ou **líber**.



Esquema da organização básica da raiz e do caule (cores-fantasia).

Os **tricomas** são geralmente estruturas especializadas contra a perda de água por excesso de transpiração, ocorrendo em plantas de clima quente. Podem ser, no entanto, secretores, produzindo secreções oleosas, digestivas ou urticantes. As plantas carnívoras possuem tricomas “digestivos” e a urtiga, planta que provoca irritação na pele, possui tricomas urticantes.

Os **pêlos** ocorrem na epiderme da raiz, sendo responsáveis pela absorção de água e de sais minerais do solo.



Esquema de estruturas epidérmicas das plantas, com base em observações ao microscópio de luz. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

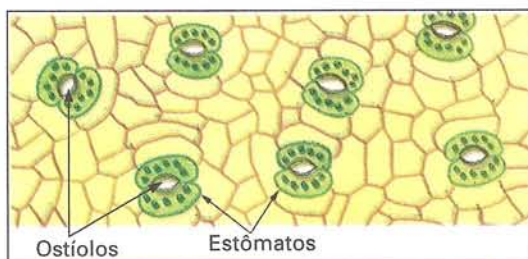
Os **acúleos**, estruturas pontiagudas com função de proteção da planta contra predadores, são frequentemente confundidos com espinhos, que são folhas ou ramos modificados. Os “espinhos” da roseira são, na realidade, acúleos. Eles são facilmente destacáveis do caule, o que não ocorre com os espinhos.

3.1. Epiderme

A epiderme é geralmente uniestratificada, formada por células justapostas, achatadas, aclorofiladas e com grande vacúolo.

Na superfície externa pode haver deposição de **cutina** ou **cera**, que são substâncias impermeabilizantes. Diferenciam-se na epiderme estruturas como **estômatos**, **tricomas**, **pêlos** e **acúleos**.

Cada **estômato** é formado por duas células clorofiladas, que se dispõem de modo a deixar entre elas uma abertura denominada **ostíolo**. Essas células podem abrir e fechar o ostíolo, controlando a transpiração e as trocas gasosas entre a planta e o ambiente, como estudaremos mais adiante.



Esquema da superfície epidérmica com base em observações ao microscópio de luz.



Fotografia de ramo de roseira mostrando os acúleos.



Fotografia de coroa-de-cristo mostrando espinhos.

Felipe F. Curcio

Felipe F. Curcio

3.2. Tecidos fundamentais

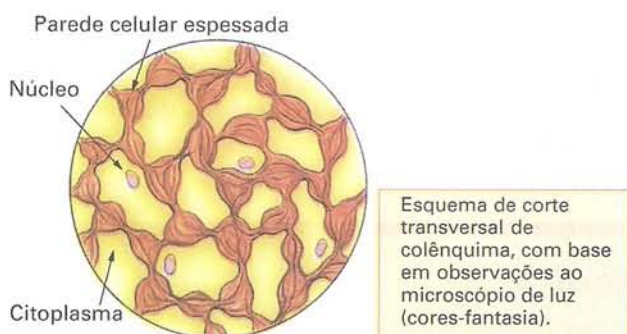
Parênquimas

Os parênquimas são tecidos formados por células vivas, com parede celular delgada, e que desempenham várias funções, como preenchimento de espaço, assimilação e reserva. Dependendo da função, os parênquimas podem ser classificados em:

- **parênquima cortical e parênquima medular:** tecidos com função de preenchimento de espaço, localizados, respectivamente, no córtex e na medula das plantas;
- **parênquimas clorofilados ou clorênquimas:** tecidos com função de assimilação, formados por células clorofiladas, principais responsáveis pela fotossíntese;
- **parênquima aquífero:** tecido com função de reserva de água. Ocorre principalmente em plantas que vivem em ambiente seco ou salino, servindo como reserva da água;
- **parênquima aerífico ou aerênquima:** tecido com função de reserva de ar. Ocorre principalmente em plantas aquáticas, auxiliando na flutuação e às vezes na respiração;
- **parênquima amilífero:** tecido com função de reserva de alimento, com células ricas em amido.

Colênquima

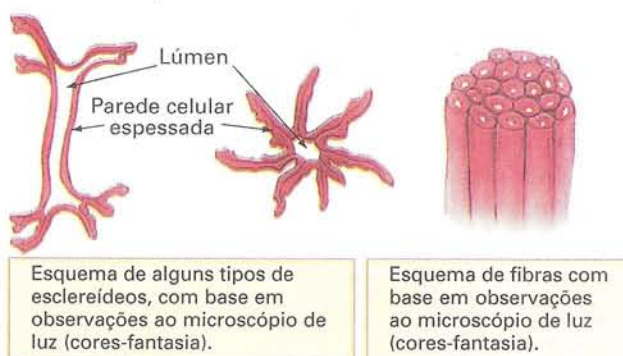
O colênquima é um tecido de sustentação da planta formado por células vivas, geralmente alongadas e com paredes espessadas, ricas em celulose, pectina e outras substâncias. Não contém lignina.



Esclerênquima

O esclerênquima é um tecido de sustentação da planta formado por células mortas, com parede celular espessada em função principalmente do depósito de lignina. Essa lignificação impermeabiliza as paredes celulares e as células morrem. São dois os tipos de células: os **esclereídeos** (com formas variadas) e as **fibras** (células delgadas e alongadas). Certas plantas possuem fibras bem desenvolvidas que são

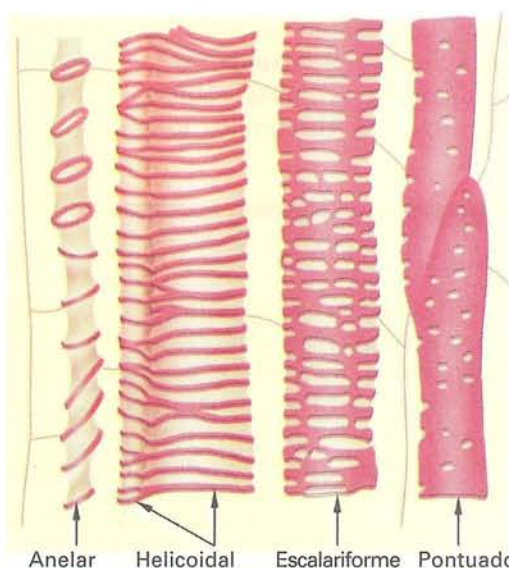
usadas comercialmente na fabricação de fibras têxteis, como a juta e o linho.



3.3. Tecidos vasculares

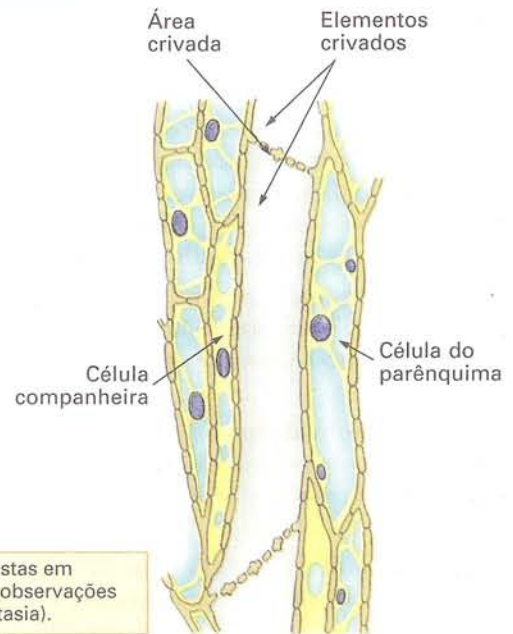
O **xilema** ou **lenho** é um tecido responsável pelo transporte de seiva bruta (água e sais minerais), enquanto o **floema** ou **líber** é um tecido condutor de seiva elaborada (rica em substâncias orgânicas derivadas da fotossíntese). Além disso, o xilema tem função de sustentação nas plantas com crescimento secundário.

Tanto no xilema como no floema existem vários tipos de células, que podem ser originárias de meristemas primários ou secundários. Considerando xilema e floema secundários já formados, as estruturas mais características e responsáveis pelo transporte de seiva bruta no xilema são os elementos **traqueais**, como é o caso dos **traqueídeos**, nome dado em função da semelhança deles com a traquéia dos insetos. São células que durante a maturação passam a apresentar reforços de lignina e perdem seu protoplasma, tornando-se células mortas.



Vista longitudinal mostrando alguns dos diferentes tipos de espessamento da parede que podem ocorrer nos elementos traqueais (células condutoras de seiva bruta). Esquema com base em observação ao microscópio de luz (cores-fantasia).

As estruturas mais características do floema e responsáveis pelo transporte da seiva elaborada são os **elementos crivados**, formados por células vivas, apesar de não apresentarem núcleo. Possuem áreas crivadas em suas paredes terminais, permitindo a passagem de seiva elaborada. Os elementos de tubos crivados estão associados a células vivas, com núcleo, chamadas **células companheiras**. Elas contribuem para a sobrevivência dos elementos crivados anucleados.



Esquema de células do floema vistas em corte longitudinal, com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

4. Os tecidos secundários das angiospermas

Além do crescimento primário, a maioria das dicotiledôneas e as gimnospermas apresentam **crescimento secundário**, que é em espessura e decorrente da atividade dos câmbios. Nessas plantas surgem outros tecidos, fora os já mencionados, que estão relacionados com o crescimento do organismo em espessura.

O procâmbio permanece como tecido meristemático formado por uma única camada de células entre o xilema e o floema, passando a constituir o **câmbio fascicular** ou **vascular**. Este dá origem ao **xilema** e ao **floema secundários**.

Além disso, algumas células parenquimáticas adultas sofrem desdiferenciação, transformando-se

em células meristemáticas. Estas células formarão os chamados **meristemas secundários**, representados por:

- **felogênio** (ou **câmbio da casca**): dá origem a um tipo de parênquima chamado **feloderme** e ao **súber** (ou **felema**); o conjunto súber-felogênio-feloderme constitui a **periderme**;
- **câmbio interfascicular**: forma o xilema e o floema secundários.

Os tecidos formados pelos câmbios fascicular e interfascicular e pelo felogênio (câmbio da casca) são considerados **tecidos diferenciados secundários**.

Súber e cortiça

O **súber** é um tecido formado por células que acumulam, em suas paredes, a suberina, substância pouco permeável que impede as trocas gasosas. Com isso, as células, depois de algum tempo, morrem e o conteúdo protoplasmático é substituído por ar. O súber, portanto, é um tecido morto que atua como isolante térmico e como proteção contra choques mecânicos. Devido à morte de suas células, todos os outros tecidos da planta mais externos ao súber também morrem, pois deixam de receber água e nutrientes.

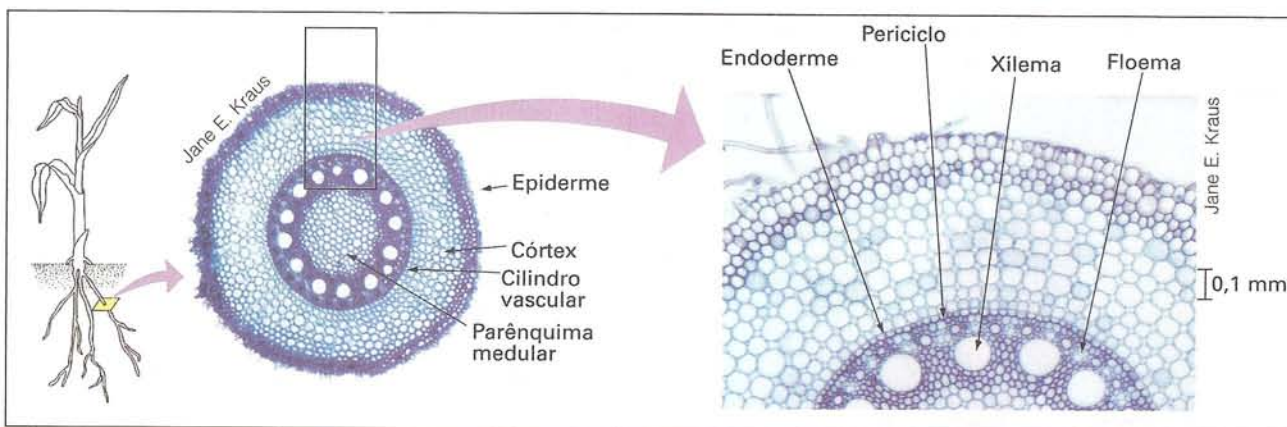
O súber do sobreiro *Quercus suber*, nativo das regiões mediterrâneas, é bastante espesso e utilizado comercialmente como **cortiça**.

O primeiro súber formado por essa árvore durante o seu crescimento tem pouco valor comercial. Ele é removido quando a planta atinge 20 anos de idade e, a partir daí, um novo câmbio da casca se forma. O súber produzido por esse novo câmbio é o que tem valor comercial. Ele é formado ao longo de 10 anos, quando então é retirado e usado para fazer a cortiça. Esse processo pode se repetir a cada 10 anos, até a planta atingir 150 anos ou mais.

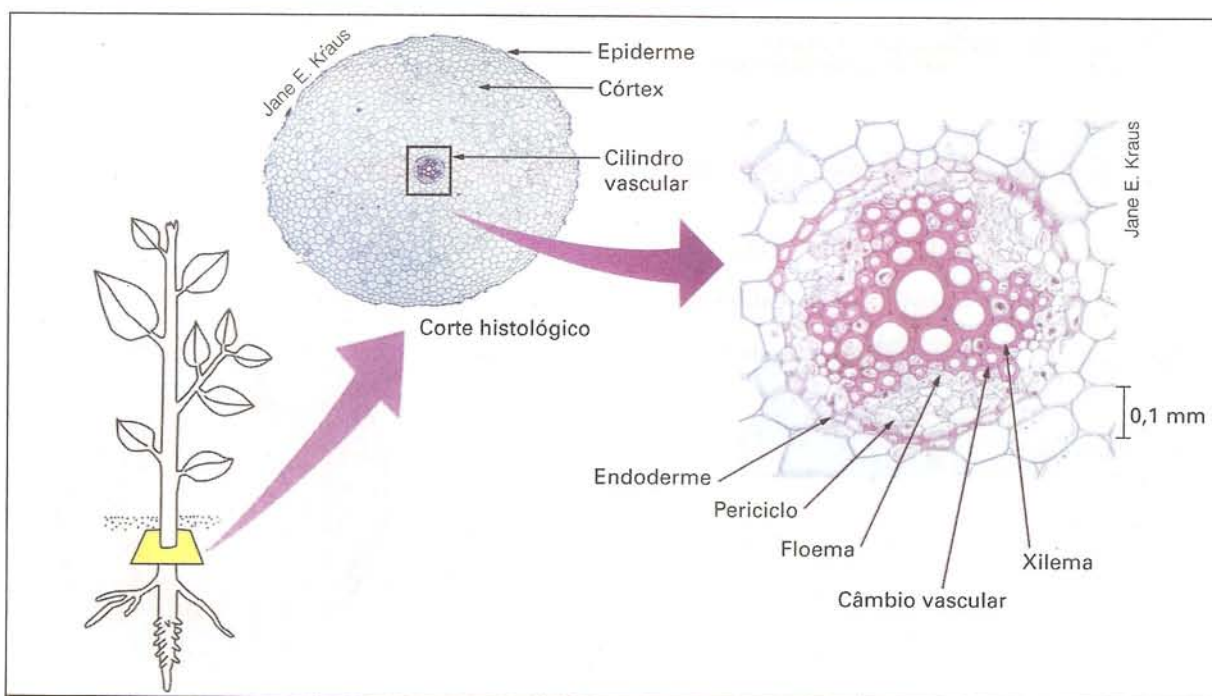
5. Disposição dos tecidos nas raízes

5.1. Estrutura primária da raiz

Analise os cortes transversais a seguir:



Esquema de monocotiledônea e micrografias de cortes histológicos corados, transversais a uma das raízes.



Esquema de dicotiledônea e micrografias de cortes histológicos corados, transversais à raiz.

Observe nesses dois cortes que existem duas regiões bem definidas: a cortical e uma região central denominada cilindro central ou vascular. Nesse cilindro estão os feixes vasculares, cuja disposição varia nas diferentes espécies.

Nas monocotiledôneas, o padrão mais comum apresenta no centro o parênquima medular ou o esclerênquima e, ao redor, o xilema alternando-se com o floema.

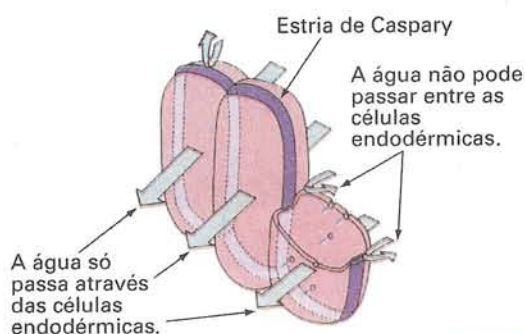
Nas dicotiledôneas, o padrão mais comum corresponde ao xilema no centro e, estendendo-se

em direção à porção do cilindro central mais próxima do córtex, os feixes do floema alternam-se com as projeções do xilema.

Entre o xilema e o floema das dicotiledôneas existe o câmbio fascicular, geralmente ausente nas raízes de monocotiledôneas. A presença do câmbio propicia o crescimento em espessura da raiz.

Ao redor dessa estrutura vascular central existe o **periciclo**, tecido originado do procâmbio e a partir do qual se desenvolvem as raízes laterais ou secundárias. Entre o periciclo e o parênquima corti-

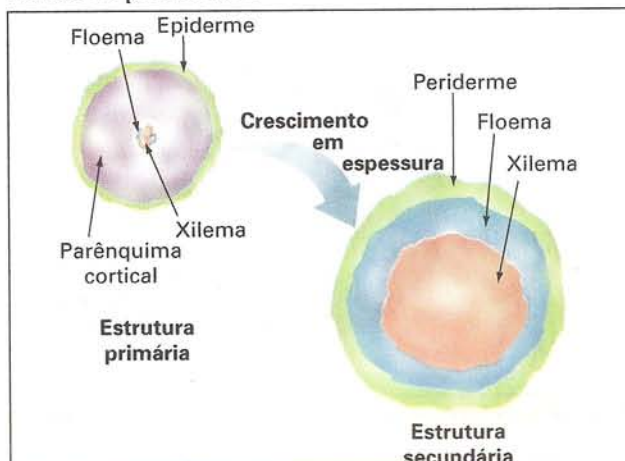
cal há a **endoderme**, formada por uma camada de células dispostas ao redor do cilindro central. Essas células possuem parede celular com uma faixa de suberina que forma a **estria de Caspary**. O modo como essa faixa se dispõe faz com que a água e os sais minerais absorvidos do meio passem obrigatoriamente pelo citoplasma das células da endoderme antes de chegarem aos vasos condutores de seiva no cilindro central.



Esquema de células endodérmicas, mostrando a disposição da estria de Caspary, com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

5.2. Estrutura secundária da raiz

Raízes de dicotiledôneas podem apresentar crescimento secundário em decorrência da atividade do câmbio vascular no cilindro central, formando xilema e floema secundários, e do felogênio, formando a periderme.

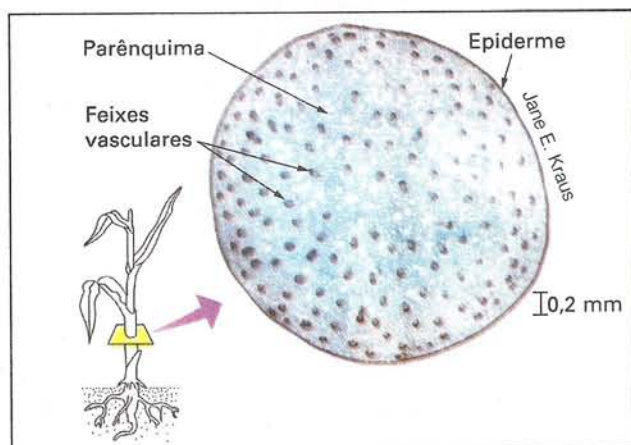


Esquema de corte transversal em raiz de dicotiledônea (cores-fantasia).

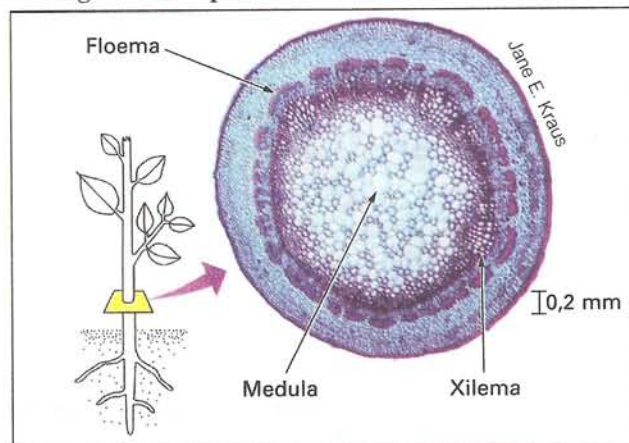
6. Disposição dos tecidos nos caules

6.1. Estrutura primária do caule

Análise os cortes transversais de caules mostrados a seguir e compare-os com os cortes de raízes:



Esquema de uma monocotiledônea e micrografia de corte histológico corado, transversal ao caule.



Esquema de uma dicotiledônea e micrografia de corte histológico corado, transversal ao caule.

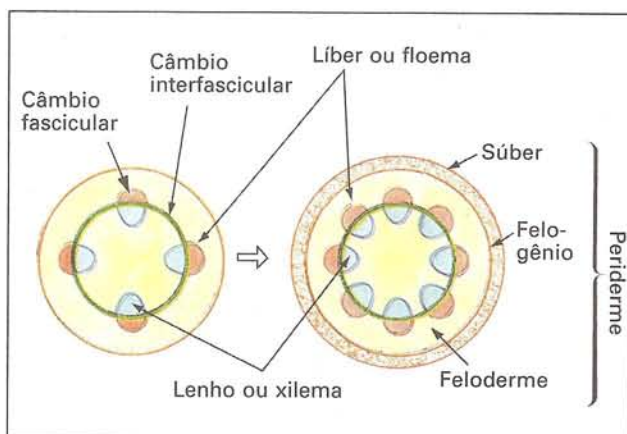
No caule de dicotiledôneas, os feixes vasculares dispõem-se formando um círculo ao redor da medula; nas monocotiledôneas, esses feixes encontram-se difusamente distribuídos pelo parênquima.

Os feixes vasculares do caule são formados por floema, mais externo, e xilema, mais interno.

6.2. Estrutura secundária do caule

Nas dicotiledôneas existe câmbio fascicular entre o xilema e o floema, o que propicia o crescimento secundário do caule. Além disso, surge o câmbio interfascicular por dediferenciação de células adultas.

Este se une ao câmbio fascicular formando um anel completo de tecido meristemático que produz do lado do córtex o floema e, do lado da medula, o xilema. Surge também o felogênio, que formará a periderme. Tem-se assim a estrutura secundária do caule.

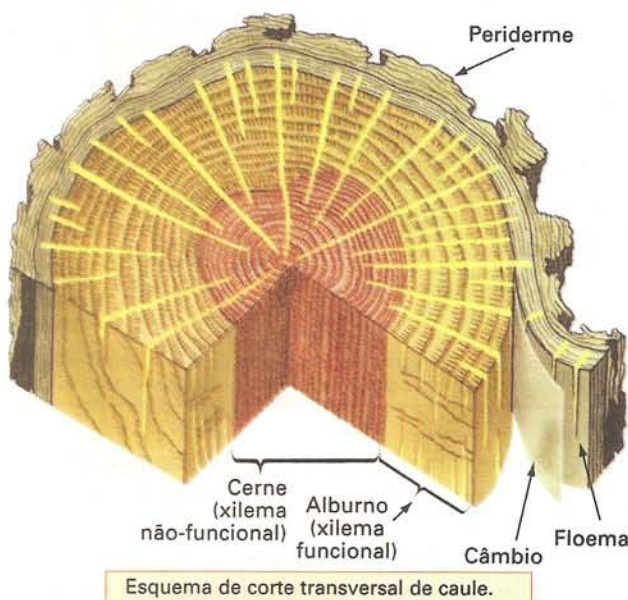


Esquema de cortes transversais de caules, para mostrar a formação de feixes vasculares a partir do câmbio interfascicular e de periderme a partir do felogênio (cores-fantasia).

de decompositores e, algumas vezes, com um aroma característico para cada espécie de planta.

Nem todo o lenho deixa de ser funcional, senão a planta morre. A parte mais externa do lenho e próxima do câmbio permanece funcional e recebe o nome de **alburno**. Este tem coloração mais clara que o cerne. A espessura do cerne e do alburno varia de planta para planta.

Em muitas plantas, quando o lenho se torna inativo, ocorre a invaginação de células parenquimáticas através dos poros dos vasos lenhosos. Essas projeções recebem o nome de **tilos** e muitas vezes chegam a ocluir totalmente o lúmen do vaso. Os tilos podem se formar prematuramente nas plantas, como uma resposta de defesa ao ataque de parasitas. Ao ocluir os vasos lenhosos, os tilos impedem que parasitas se dispersem pela planta através do xilema.



Esquema de corte transversal de caule.

6.3. Cerne, alburno e tilos

À medida que as plantas crescem e se tornam mais velhas, a região mais interna dos caules, formada basicamente pelo lenho (ou xilema), eventualmente deixa de ser funcional. Assim, não ocorre mais a condução de seiva nessa região central da planta, que recebe então o nome de **cerne**. Antes de morrerem, as células dessa região ficam impregnadas de diversas substâncias, como óleos, resinas e taninos, que escurecem o cerne, deixando-o resistente ao ataque

Madeira

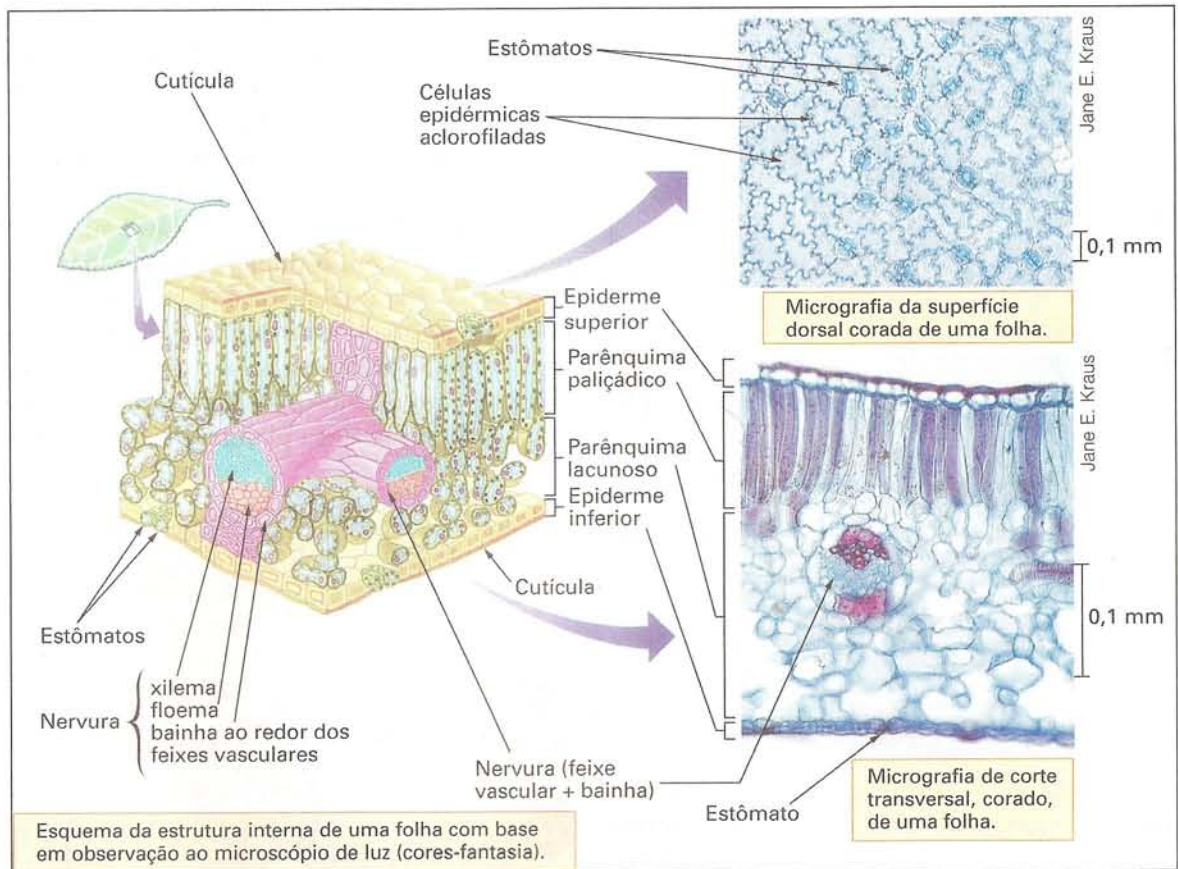
Anéis de crescimento

As madeiras, quando vistas em cortes transversais, apresentam zonas concêntricas sucessivas, denominadas anéis de crescimento. Esses anéis são bem evidentes especialmente em madeiras de regiões temperadas, em que as estações do ano são bem marcadas. Nesses casos, cada anel é chamado **anual**, e com base no número de anéis é possível verificar a idade de uma árvore.

Cada anel é formado pelo conjunto dos chamados xilema inicial ou primaveril e xilema tardio ou estival. O inicial é menos denso, constituído por células de paredes finas; já o tardio é mais denso, formado por células de paredes bem espessadas.

7. Disposição dos tecidos nas folhas

Analise o esquema seguinte, que mostra a disposição dos tecidos na lâmina ou limbo das folhas:



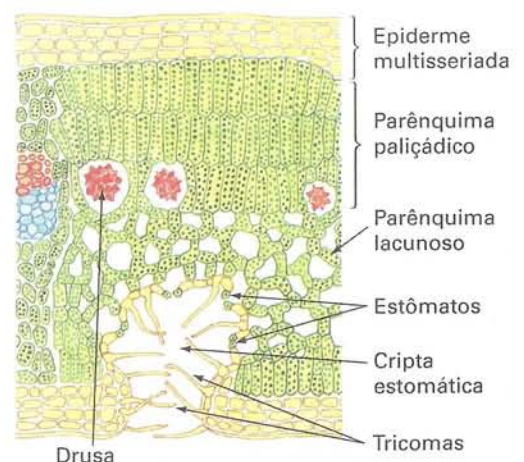
O revestimento das folhas é feito pela epiderme, onde há diferenciação dos estômatos, estruturas relacionadas com transpiração e trocas gasosas.

Entre a epiderme superior e a inferior existe o **mesofilo**, composto pelos **parênquimas clorofilados paliádico** e **lacunoso** (ou **esponjoso**). No mesofilo podem estar presentes os **cistólitos**, as **drusas** e as **ráfides**, que são cristais de carbonato de cálcio acumulados em certas células.

O formato e a disposição das células dos parênquimas paliádico e lacunoso representam adaptação à função fotossintetizante: junto à superfície superior, que recebe luz intensa, as células justapostas protegem a folha contra a luz e o calor excessivos; logo abaixo, onde a luz já é difusa e menos intensa, as células distribuem-se de forma livre e desordenada.

Certas plantas possuem folhas com adaptações a condições climáticas mais rigorosas, como a presença de epiderme multisseriada e três fileiras de células no parênquima paliádico. Essas folhas costumam ter, ainda como adaptação a condições adversas de temperatura e umidade, amplas criptas

(reentrâncias) na epiderme inferior, onde se abrem vários estômatos. Frequentemente, observam-se numerosos tricomas que retêm ar junto às criptas, constituindo um sistema de isolamento eficiente para reduzir a perda de água. Nesse caso, não existem estômatos na epiderme superior.



Esquema de corte transversal de folha, com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Imersas no mesofilo, encontram-se as **nervuras**, que correspondem aos feixes vasculares condutores de seiva, associados ou não a elementos de sustentação.

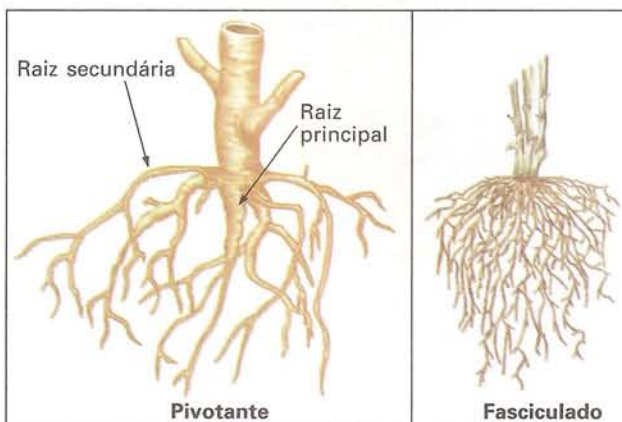
Além da função de condução, os feixes vasculares dão suporte mecânico aos tecidos do mesofilo.

8. Sistemas radiculares

Existem dois tipos principais de sistema radicular nas angiospermas: o pivotante ou axial, típico das dicotiledôneas, e o fasciculado, típico das monocotiledôneas.

No **sistema radicular pivotante** há uma raiz principal, chamada **pivotante** ou **axial**, derivada da primeira raiz que surge na germinação da semente. Dela partem várias outras, laterais ou secundárias, que podem apresentar ramificações, razão pela qual esse sistema é também conhecido por sistema radicular ramificado.

No **sistema radicular fasciculado** não há raiz principal, pois a raiz primária, originada na germinação da semente, logo degenera. Da base do caule partem numerosas raízes relativamente finas, formando um feixe ou cabeleira. Como não derivam de uma estrutura radicular, essas raízes são chamadas **adventícias**.



Esquemas de sistema radicular.

Em muitas monocotiledôneas, como a grama de jardim, o sistema fasciculado é pouco profundo e forma um emaranhado que se adere às partículas do solo. Graças a essa característica, essas plantas são muito utilizadas para prevenir a erosão dos solos.

Esses dois sistemas radiculares (pivotante e fasciculado) são os mais comuns, mas existem outros tipos relacionados com a adaptação das plantas a diferentes condições ecológicas, como resumido a seguir.

8.1. Adaptações especiais da raiz

- **Raízes-suportes:** raízes aéreas que dão suporte e equilíbrio à planta. Ocorrem geralmente em

plantas que vivem em solo pantanoso ou que possuem base pequena em relação à altura, caso do milho e do *Pandanus*;



Fotografia de raízes-suportes em *Pandanus*.

Felipe F. Curcio

- **raízes tabulares:** tipo especial de raiz-suporte em que os ramos radiculares se fundem com o caule adquirindo um aspecto que lembra tábuas, de onde vem o seu nome (tabular); essas raízes são importantes auxiliares na fixação das plantas ao solo e atuam também como raízes respiratórias;

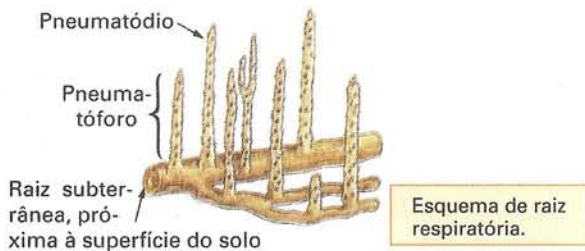


Fotografia de raiz tabular.

Luciano Candisani

- **raízes estrangulantes:** raízes aéreas de certas plantas epífitas que, ao crescerem em direção ao solo, podem envolver o tronco da planta hospedeira. Como aumentam em espessura, com o passar do tempo essas raízes podem comprimir o caule, interrompendo a circulação da seiva elaborada na planta hospedeira, razão de seu nome. Ocorre nas figueiras mata-pau;
- **raízes respiratórias** ou **pneumatóforos:** raízes aéreas que ocorrem em certas plantas que vivem em solos pobres em oxigênio, como a espécie

Avicennia schaueriana, comum nos manguezais brasileiros; essas raízes são dotadas de pequenos orifícios, os **pneumatódios**, através dos quais se processa a aeração;



- **raízes tuberosas:** atuam também como órgãos especiais de reserva, caso da cenoura, da batata-doce, do nabo e da beterraba;
- **raízes sugadoras ou haustórios:** raízes de plantas parasitas e hemiparasitas; são muito finas e penetram o caule da hospedeira. Nas plantas parasitas (como o cipó-chumbo), atingem os vasos liberianos, dos quais retiram a seiva elaborada; nas hemiparasitas (como a erva-de-passarinho), atingem os vasos lenhosos, retirando seiva bruta, que não contém nutrientes orgânicos.

9. Sistemas caulinares

A organização básica de um caule consiste em um eixo de sustentação que possui **nós**, onde existem as gemas laterais, e **entrenós**, que são os intervalos entre dois nós sucessivos. As gemas laterais são responsáveis pela formação de ramos e folhas.

Um tipo de caule comum nas dicotiledôneas é o **tronco**, que é aéreo e ereto, com ramificações. Pode ser observado, por exemplo, em árvores como a mangueira e a laranjeira.

No feijoeiro e em muitas ervas ocorre um tipo de caule aéreo muito delicado denominado **haste**.

Nas monocotiledôneas os caules mais comuns são colmo e estipe.

O **colmo** é um caule cilíndrico em que se observam nitidamente os nós e os entrenós formando gomos, como ocorre na cana-de-açúcar e no bambu. Neste último os entrenós (gomos) são ocos, enquanto na cana-de-açúcar são cheios.

O **estipe** também é cilíndrico, com nós e entrenós bem evidentes, mas é mais espesso que o colmo e apresenta folhas apenas no ápice, como se observa nas palmeiras.

Muitas plantas apresentam caules com adaptações especiais, como resumido a seguir.

pouco tempo essas estruturas eram interpretadas como raízes-suportes;



Luciano Candisani

Fotografia de rizóforos de *Rhizophora mangle*.

- **caule volúvel:** caule aéreo que não é capaz de sustentar suas folhas; eleva-se do solo enrolando-se em qualquer suporte ereto. Ocorre em certas plantas trepadeiras;



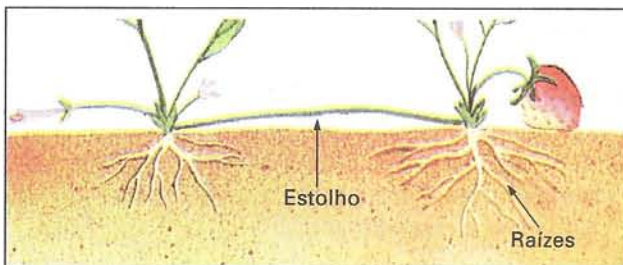
Jane E. Kraus

Fotografia de caule volúvel de planta trepadeira.

9.1. Adaptações especiais do caule

- **Rizóforo:** ramos caulinares que crescem em direção ao solo e formam raízes adventícias; auxiliam na sustentação e estabilização de plantas. Ocorrem por exemplo em *Rhizophora mangle*, planta comum nos manguezais brasileiros; até há

- **caule rastejante ou prostrado do tipo sarmento:** caule aéreo incapaz de sustentar suas folhas, desenvolvendo-se rente ao chão. Fixa-se ao solo por meio de raízes que se formam em apenas um ponto. Exemplos: caules do chuchu e da abóboreira;
- **caule rastejante do tipo estolho ou estolão:** caule aéreo rastejante em que há enraizamento em vários pontos. Se a ligação entre um enraizamento e outro for interrompida, de cada ponto pode se formar uma nova planta, representando uma forma de propagação vegetativa, como ocorre em morangueiros;



Esquema de caule rastejante do tipo estolho, de morangueiro.

- **cladódio:** caule aéreo modificado com função fotossintetizante e/ou de reserva de água. Ocorre em certas plantas que vivem em regiões com escassez de água. Um exemplo é o cacto, cujo caule é sempre verde e apresenta folhas atrofiadas, transformadas em espinhos, o que reduz a perda de água por transpiração;



Fotografia de cacto.

Felipe F. Curcio

- **rizoma:** caule subterrâneo que se desenvolve paralelamente à superfície do solo. Dele podem

emergir folhas aéreas, como acontece com a bananeira;



Esquema de um rizoma de bananeira.

- **tubérculo:** caule subterrâneo rico em material nutritivo. O exemplo típico é a batatinha comum (*Solanum tuberosum*), em que é possível observar, como em todo caule, a presença dos botões vegetativos ou gemas, popularmente conhecidos por "olhos". Por meio deles distinguem-se tubérculos de raízes tuberosas, pois estas são desprovidas de tais formações;

Fotografia de batatinha (*Solanum tuberosum*), recém-retirada do solo.

Patrick Johns/Corbis

- **bulbo:** é a um só tempo caule e folhas subterrâneas, como ocorre na cebola — a parte central, o **prato**, corresponde ao caule e dele partem os **catafilos**, folhas modificadas que protegem gemas dormentes e que no bulbo têm também a função de acumular substâncias nutritivas. O alho é outro exemplo de bulbo; nele cada dente é um pequeno bulbo e por isso é classificado como **bulbo composto**.



Juarez Silva

Fotografia de bulbo simples (cebola).

Catafilos Prato

11. Frutos e pseudofrutos

Os **frutos** são estruturas auxiliares no ciclo reprodutivo das angiospermas: protegem as sementes e auxiliam em sua disseminação. Eles correspondem ao ovário amadurecido, o que geralmente ocorre após a fecundação.

Nos casos em que o ovário origina o fruto sem que tenha ocorrido a fecundação, não há formação de sementes e o fruto chama-se **partenocárpico**, caso da banana e da laranja-da-baía.

A parede desenvolvida do ovário passa a ser denominada **pericarpo**, que corresponde ao fruto propriamente dito.

Os frutos podem ser classificados em:

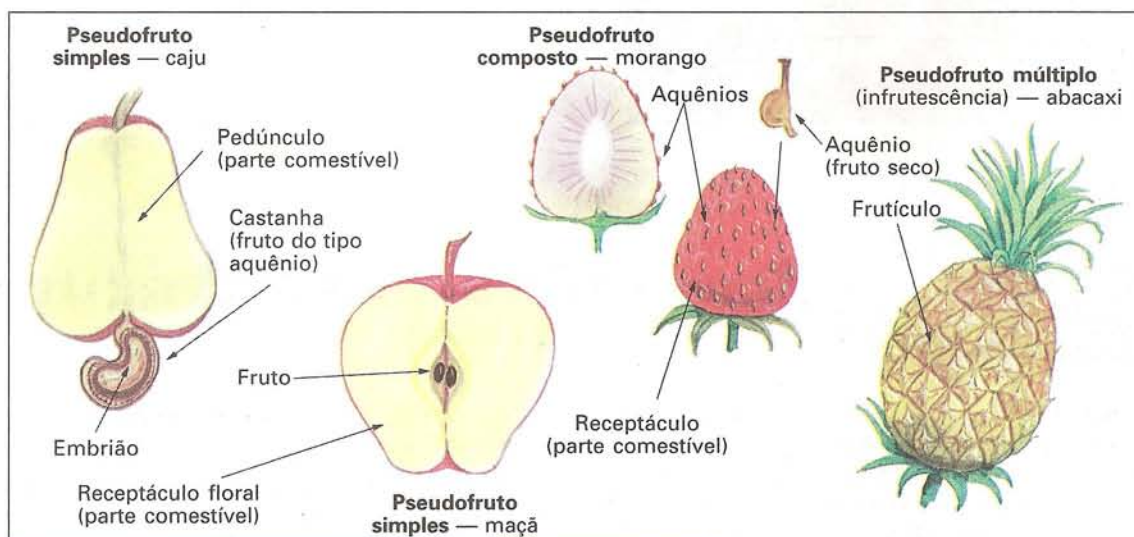
Carnosos (com pericarpo suculento)		Secos (com pericarpo seco)		
Baga: em geral tem várias sementes, facilmente separáveis do fruto. Exemplos: uva, tomate, laranja, mamão, goiaba, melancia.	Drupa: o tegumento da semente é fundido à parede interna do pericarpo (endocarpo), formando um caroço. O pericarpo pode ser também coriáceo ou fibroso. Geralmente apresenta uma só semente. Exemplos: ameixa, azeitona, pêssego, manga.	Deiscentes: abrem-se naturalmente quando maduros. Exemplos: legume ou vagem que ocorre na maioria das plantas leguminosas, como feijão e ervilha.	Indeiscentes: não se abrem quando maduros.	
		Cariopse ou grão: com uma só semente ligada à parede do fruto por toda a sua extensão. Exemplos: grãos do trigo, milho e arroz.	Aquênio: com uma só semente ligada à parede do fruto por um único ponto. Exemplo: fruto do girassol.	Sâmara: com a parede do ovário formando expansões aladas. Exemplos: tipuana, cabreúva.

Os **pseudofrutos** são estruturas suculentas que contêm reservas nutritivas, mas que não se desenvolvem a partir de um ovário. Os pseudofrutos podem ser:

- **simples:** provenientes do desenvolvimento do pedúnculo ou do receptáculo de uma só flor. Exemplos: maçã, pêra, em que a parte suculenta origina-se do receptáculo da flor, e caju, em que a parte suculenta origina-se do pedúnculo e do receptáculo floral e o fruto verdadeiro corresponde à estrutura que con-

tém a semente comestível, conhecida como castanha de caju;

- **agregados ou compostos:** provenientes do desenvolvimento do receptáculo de uma única flor, com muitos ovários. Exemplo: morango, em que vários aquênios ficam associados a uma parte carnosa correspondente ao receptáculo da flor;
- **múltiplos ou infrutescências:** provenientes do desenvolvimento de ovários de muitas flores de uma inflorescência, que crescem juntos numa estrutura única. Exemplos: amora, abacaxi, figo.



Esquemas de pseudofrutos representados em diferentes proporções.

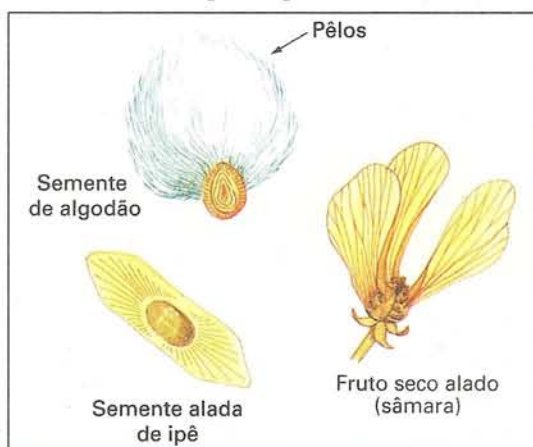
12. Disseminação das sementes e dos frutos

A semente, após seu desenvolvimento, é disseminada no meio ambiente por vários mecanismos, que podem envolver adaptações das próprias sementes ou dos frutos que as contêm.

A dispersão das sementes é um mecanismo importante para o sucesso da espécie, uma vez que permite aos organismos a exploração de novos ambientes.

A disseminação pode ocorrer pelo vento (**anemocoria**), por meio de animais (**zoocoria**) ou pela água (**hidrocoria**).

As espécies anemócoras apresentam sementes ou frutos leves, com pêlos ou expansões aladas, facilitando seu transporte pelo vento.



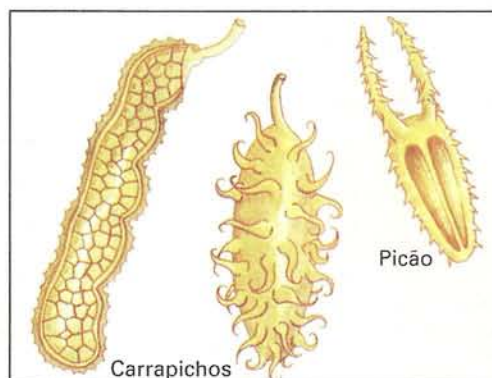
Esquemas de sementes e fruto alados, representados em diferentes proporções.



Fotografia de frutos de dente-de-leão.

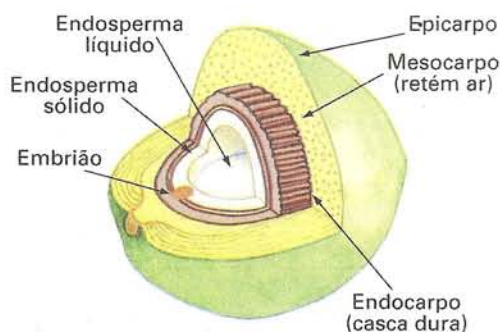
Getty Images

Em muitas espécies zoócoras os frutos são atraentes, servindo de alimento para os animais. Em outras espécies zoócoras os frutos são secos, mas apresentam formações que os prendem ao corpo de animais, sendo levados a grandes distâncias. São exemplos carrapichos e picão.



Esquemas de frutos secos representados em diferentes proporções.

As espécies hidrócoras possuem frutos ou sementes que retêm ar. Dessa forma, podem ser transportados flutuando na água, como ocorre com o coco-da-baía, que possui mesocarpo fibroso, cheio de ar.



Esquema de fruto do coco-da-baía, com parte removida para mostrar as estruturas internas.

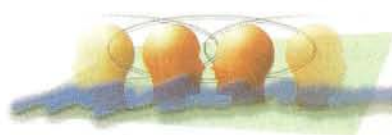
QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Um estudante colocou para germinar um grão de milho e um grão de feijão. À medida que ocorria a germinação, o estudante começou a notar algumas diferenças entre os brotos que surgiam. Diga quais são essas diferenças e explique o que são o grão de milho e o grão de feijão utilizando os conceitos que aprendeu neste capítulo.

2. Diferencie monocotilêdoneas de dicotilêdoneas com base na estrutura interna das raízes e dos caules.

3. Relacione com a fotossíntese o formato e a disposição das células dos parênquimas paliádico e lacunoso nas folhas.

4. Em uma barraca de feira havia três placas identificando os vegetais que estavam sendo vendidos: sob a placa **Frutas** havia maçã, morango, mamão, laranja; sob a placa **Legumes** estavam vendendo chuchu, couve-flor, abobrinha, vagem, batata-inglesa e cenoura; sob a placa **Verduras** colocaram espinafre, couve e repolho. Usando os conceitos de Botânica, reclassifique esses vegetais em fruto, pseudofruto, raiz tuberosa, tubérculo, flor e folha.
5. Muitas pessoas colocam batata-inglesa para brotar e dar um novo pé de batata. Por que elas não fazem o mesmo com a batata-doce?
6. Caracterize e dê exemplos das seguintes raízes: suporte, respiratória, tabular, sugadora e tuberosa.
7. Diferencie tronco, colmo e estipe.
8. Conceitue estolho e dê um exemplo.
9. Cite as adaptações de um cacto em relação ao ambiente.
10. Esquematize uma folha completa nomeando suas partes.
11. Faça uma lista com exemplos de diferentes tipos de frutos e suas particularidades.
12. Defina pseudofruto e cite três diferentes tipos.
13. Comente os mecanismos de dispersão de sementes e de frutos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Plantas tóxicas

Muitas plantas apresentam, pelo menos em algumas partes, princípios ativos com ação tóxica. No entanto, a simples presença desses princípios em uma planta não a qualifica necessariamente como tóxica. É necessário que haja pelo menos uma referência na literatura de um caso de intoxicação em seres humanos ou animais domésticos motivada por ingestão ou contato com uma planta para que ela seja incluída na lista das espécies tóxicas.

A relação de princípios ativos tóxicos é muito variada, como também o são os mecanismos de sua ação. Muitas vezes, a intoxicação não é causada por substâncias produzidas pela planta, mas por agentes que a infectam, como fungos. Por exemplo, a aflatoxina é produzida por fungos que infectam a torta de amendoim armazenada para servir de ração ao gado bovino. Algumas plantas são tóxicas porque absorvem e acumulam elementos tóxicos do solo, como o selênio. Outras plantas são tóxicas porque desencadeiam processos alérgicos pelo contato da pele com suas folhas.

Assim, é importante conhecer as plantas tóxicas que mais comumente são causa de intoxicações em seres humanos. Vale a pena também acrescentar que nenhuma planta **agride** o ser humano. Ao contrário, ele é invariavelmente o agente agressor. A planta simplesmente utiliza os recursos que a natureza lhe deu para tentar resistir aos ataques dos quais freqüentemente é vítima. Tudo o que devemos fazer

é evitar o contato e a ingestão de partes de plantas que podem provocar reações adversas no organismo. Não há também nenhum inconveniente em mantê-las em ambiente doméstico, desde que as pessoas (principalmente as crianças) sejam alertadas para o perigo representado pela ingestão ou manipulação de plantas tóxicas.

Há plantas alimentícias que podem ser ingeridas somente após um tratamento que inative ou elimine os princípios tóxicos. Um exemplo correto é o feijão, que precisa ser cozido para inativar certas proteínas tóxicas da semente. Por isso, é fundamental esclarecer a população sobre os riscos de intoxicação pelo uso inadequado de algumas plantas comestíveis.

Outro exemplo é a *Manihot esculenta*, a popular mandioca. Apesar de ser uma planta largamente consumida como fonte calórica, se for preparada inadequadamente, a mandioca causa uma intoxicação que, não raro, se torna fatal. A raiz da mandioca contém uma substância chamada linamarina, que, sob a ação de uma enzima presente nos tecidos da própria raiz, decompõe-se, liberando, entre outras substâncias, o cianidreto. Este é o mesmo gás utilizado em alguns locais dos Estados Unidos para a execução de condenados na câmara de gás.

Certas variedades de mandioca acumulam quantidades muito maiores de linamarina: são as chamadas mandiocas-bravas. Sem análise química, não é

possível distinguir as variedades “bravas” das “man-sas”. A linamarina ocorre em maiores quantidades na casca da raiz, mas a polpa branca comestível contém quantidades consideráveis dessa substância.

Na circulação sangüínea o cianidreto libera o íon cianeto, que é transportado pela hemoglobina. Nas células o cianeto liga-se fortemente ao citocromo mitocondrial, responsável pelo transporte de elétrons na respiração celular. Por essa razão, a pessoa intoxicada passa por um processo de asfixia celular que, dependendo da quantidade de cianeto no sangue, pode provocar a morte.

A maneira mais segura de se preparar a mandioca para a alimentação é eliminar uma boa espessura dos tecidos mais externos da casca, deixar as partes descascadas imersas em água por 1 ou 2 horas (o que causa a morte das células e a decomposição da linamarina) e cozinhá-las em água fervente por pelo menos 1 hora (para garantir a decomposição do que restou da linamarina).

O que fazer nos casos de intoxicação por plantas

É importante conhecer as principais plantas tóxicas presentes em residências, jardins, locais públicos e arredores, como terrenos baldios. Foram apresentadas apenas algumas plantas que podem representar riscos de intoxicação para o ser humano. Deve-se assumir como norma rigorosa e geral o aconselhamento

das pessoas, principalmente de crianças, para não ingerirem nenhuma parte de plantas, cultivadas ou não, que sejam desconhecidas ou das quais não se tenha absoluta certeza sobre a inocuidade. Também não se devem fazer chás ou outras preparações medicamentosas de plantas a não ser que se tenha certeza de que o uso é seguro. Deve-se combater a noção totalmente infundada, mas infelizmente muito comum, de que “se as plantas não fazem bem, mal também não fazem”. Na verdade, na ingestão de partes quaisquer de uma planta desconhecida é muito mais provável a ocorrência de manifestações indesejadas do que a inocuidade.

Finalmente, no caso de uma intoxicação, chame um médico. Tenha à mão um ramo da planta que causou o acidente ou partes dela, mesmo que sejam fragmentos retirados da boca da pessoa intoxicada ou de seu vômito. É possível que o médico desconheça a existência do Centro de Intoxicações local, que muitas vezes é essencial para o tratamento de intoxicações em geral, incluindo as causadas por plantas. Na cidade de São Paulo, o Centro de Controle de Intoxicações da prefeitura localiza-se no Hospital Dr. Arthur Ribeiro de Saboya, Rua Francisco de Paula Quintanilha Ribeiro, 860, Jabaquara, CEP 04330-020, tels.: (0**11) 5012-5311, 5011-5111, ramais 186 e 251.

Texto escrito especialmente para este livro por Antonio Salatino, Prof. Titular do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

- Procure saber se na região onde você mora existe algum serviço de apoio contra intoxicações por plantas. Discuta um modo de divulgar a importância do conhecimento das plantas tóxicas e de alertar as pessoas de que as plantas não devem ser ingeridas indiscriminadamente.



TESTES

1. (UFES) Com relação ao transporte de seivas nas plantas vasculares, pode-se afirmar que:

- I — o floema é constituído por elementos de vasos e traqueídeos;
- II — a seiva elaborada é constituída, principalmente, de água e sais minerais;
- III — a seiva bruta é transportada das raízes às folhas através dos vasos lenhosos;
- IV — os vasos liberianos, em geral, ocupam a posição mais externa do caule, transportando produtos da fotossíntese.

Está(ão) **correta(s)**:

- a) I e II.
- b) III e IV.
- c) apenas III.
- d) apenas IV.
- e) I, II, III e IV.

2. (UFSC) **Parênquimas** são tecidos vegetais que preenchem os espaços entre a epiderme e os tecidos condutores. Faça a associação **correta** entre os parênquimas vegetais e a principal função que desempenham.

Parênquimas	Função
A — medular	I — reserva de água
B — clorofiliano	II — preenchimento
C — amilífero	III — reserva de ar
D — aquífero	IV — assimilação
E — aerênquima	V — reserva de amido

- 01. A — II
- 02. B — IV
- 04. C — V
- 08. D — III
- 16. E — I

Dê como resposta a soma dos números referentes às associações corretas.

3. (UFRJ) Em pesquisas desenvolvidas com eucaliptos, constatou-se que a partir das gemas de um único ramo podem-se gerar cerca de 200 000 novas plantas, em aproximadamente 200 dias, enquanto os métodos tradicionais permitem a obtenção de apenas cerca de cem mudas a partir de um mesmo ramo. A cultura de tecido é feita a partir:

- a) de células meristemáticas.
- b) de células da epiderme.
- c) de células do súber.
- d) de células do esclerênquima.
- e) de células do lenho.

4. (UFJF-MG) Alguns insetos sugadores alimentam-se de seiva elaborada pelas plantas, introduzindo seu aparelho bucal nas nervuras das folhas. Para a obtenção dessas substâncias, o tecido vegetal que deve ser atingido pelo aparelho bucal desses insetos é o:

- a) parênquima.
- b) colênquima.
- c) xilema.
- d) floema.

5. (UFMT) Todas as plantas que vivem em clima seco exibem algumas adaptações morfológicas para se protegerem do calor e enfrentarem as dificuldades para realizar seus processos vitais que dependem da água. Sobre esse assunto, julgue os itens.

- a) A cera produzida na endoderme da folha de uma carnaubeira serve como protetor vegetal, impedindo que a planta perca água por transpiração.
- b) Os colênquimas aquíferos armazenam água, contribuindo para o suprimento hídrico em épocas secas.
- c) A epiderme das folhas dos vegetais de regiões secas pode apresentar tricoma ou ainda reduzir a superfície foliar produzindo espinhos, eficiente proteção contra desidratação.
- d) A cortiça, tecido meristemático morto, apresenta intensa impregnação de suberina e, além de proteger contra evaporação, é um excelente termoisolante.

6. (UFRS) Existem plantas que, por suas características morfológicas, são mais adaptadas à função de conter a ero-

são do solo, como em encostas de morros, taludes e beiras de estradas. Entre as plantas indicadas para este fim, costuma-se utilizar espécies do grupo das Gramíneas. Indique a alternativa que apresenta uma característica que corresponde ao grupo acima citado:

- a) folhas sem bainha
- b) sementes com dois cotilédones
- c) flores pentâmeras
- d) raízes fasciculadas
- e) folhas penínérveas

7. (UFMT) A respeito das Gymnospermas e das Angiospermas, julgue as proposições.

- 0) O fruto carnoso das Angiospermas apresenta epicarpo, mesocarpo e endocarpo.
- 1) A geração dominante encontrada nas Angiospermas e Gymnospermas é, respectivamente, esporófitica e gametófitica.
- 2) O pinhão das coníferas é um tipo de fruto e o milho é um tipo de semente nua.
- 3) Nas Gymnospermas, o esporófito pode ser ou não de sexos separados, mas os estróbilos são sempre unissexuados.

8. (UEL-PR) A banana não tem sementes porque na realidade:

- a) é um pseudofruto, ou seja, não é um fruto verdadeiro.
- b) é um fruto múltiplo, que não foi polinizado.
- c) é um fruto carnoso, partenocárpico.
- d) é um fruto do tipo drupa.
- e) a banana não é um fruto.

9. (Fuvest-SP — mod.) Pontas de raízes são utilizadas para o estudo dos cromossomos de plantas por apresentarem células:

- a) com grande número de mitocôndrias.
- b) dotadas de nucléolos bem desenvolvidos.
- c) em divisão mitótica.
- d) em processo de diferenciação.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFPR) Colênquima e esclerênquima são tecidos característicos dos vegetais. Compare-os em relação aos seguintes itens:

- a) características gerais;
- b) funções.

2. (Unesp-SP) O cipó-chumbo é um vegetal que não possui raízes, nem folhas, nem clorofila. Apresenta estruturas especiais que penetram na planta hospedeira para retirar as substâncias que precisa para viver. Por sua forma de vida, o cipó-chumbo é considerado um holoparasita. Uma outra planta, a erva-de-passarinho, é considerada uma hemiparasita e, embora retire das plantas hospedeiras água e sais minerais, possui folhas e clorofila.

Considerando estas informações, responda.

- a) Pelo fato de o cipó-chumbo ser holoparasita, que tipo de nutriente ele retira da planta hospedeira para a sua sobrevivência? Justifique a sua resposta.
- b) Quais estruturas das plantas hospedeiras são invadidas pelo cipó-chumbo e pela erva-de-passarinho, respectivamente? Justifique sua resposta.

3. (Unicamp-SP) Frutos carnosos imaturos são verdes e duros. Durante o amadurecimento ocorre a decomposição da clorofila e a síntese de outros pigmentos, resultando em uma coloração amarelada ou avermelhada. Com o amadurecimento também ocorre o amolecimento devido à degradação de componentes da parede celular e aumento nos níveis de açúcares.

- a) Qual a vantagem adaptativa das modificações que ocorrem durante o amadurecimento dos frutos carnosos?
- b) De que estrutura da flor se origina a porção carnosa de um fruto verdadeiro?
- c) A maçã, apesar de carnosa, não é fruto verdadeiro. Explique de que estrutura ela se origina.

4. (UFCE) O corpo dos vegetais superiores é composto de 2 (dois) conjuntos básicos de estruturas: vegetativas e reprodutivas. Enquanto as estruturas vegetativas garantem a manutenção do indivíduo como uma unidade dentro da população, as estruturas reprodutivas são responsáveis pela propagação deste indivíduo e pela conseqüente manutenção do estoque genético da espécie. No que se refere às estruturas vegetativas, responda aos itens a seguir:

- a) Quais as funções do caule e da raiz na planta? Cite pelo menos duas funções de cada órgão.
- b) Quais as características morfológicas (ou fisiológicas) de cada um desses órgãos? Cite pelo menos duas características de cada um.
- c) Normalmente, os caules e as raízes desenvolvem-se, respectivamente, acima e abaixo do solo. Acontece que determinadas plantas apresentam um padrão de crescimento um tanto quanto diferente. Cite 2 (dois) exemplos de caules subterrâneos e 2 (dois) exemplos de raízes aéreas.

5. (Unicamp-SP) Em uma quitanda, cada banca apresentava uma placa de classificação de produtos que estavam à venda. Na banca de frutos havia abobrinha, banana, berinjela, beterraba, cenoura, laranja, pepino, tomate e chuchu; na banca de raízes e tubérculos havia batata, cebola e mandioca. Considerando critérios botânicos, reorganize os produtos à venda na quitanda, utilizando quatro bancas.

6. (PUC-SP) Ao discutir com colegas a origem do fruto, um estudante afirmou: “O tomate é um fruto verdadeiro, enquanto o caju é um pseudofruto”.

Você concorda com essa afirmação? Justifique sua resposta.



Fisiologia das angiospermas

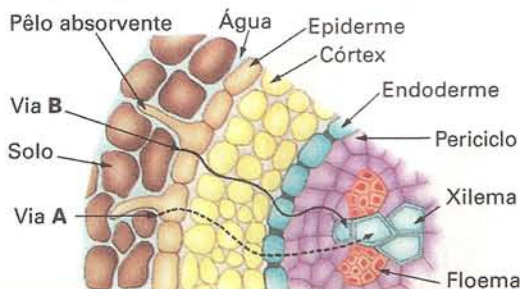
1. Introdução

Neste capítulo discutiremos os principais mecanismos fisiológicos responsáveis por manter as angiospermas vivas e em harmonia com o meio. Analisaremos primeiramente a absorção e a condução de água e de nutrientes, a condução de seiva elaborada, e depois os fatores reguladores do crescimento e do desenvolvimento vegetal.

2. Absorção

A absorção de água e sais minerais do meio ocorre principalmente na região dos pêlos absorventes das raízes.

Analise a figura a seguir, que mostra o caminho percorrido pela água e pelos sais minerais absorvidos pela planta.



Esquema de corte transversal de raiz, feito com base em observações ao microscópio de luz, indicando o caminho da água do solo para o interior do xilema (cores-fantasia).

Note que existem duas vias por meio das quais a água e os sais nela dissolvidos atingem o cilindro central:

- pela via A essas substâncias atravessam o citoplasma das células do córtex da raiz;

- pela via B passam por entre as paredes celulares e não atravessam o citoplasma das células.

Em ambos os casos, no entanto, a água e os sais têm de passar pelo citoplasma das células da endoderme por causa das estrias de Caspary, antes de atingirem o xilema.

Ao chegar ao cilindro central, os sais minerais são transferidos por processo ativo para dentro do xilema, e a água é transferida por osmose. Forma-se assim a seiva bruta, que será distribuída pelo xilema das raízes até as folhas.

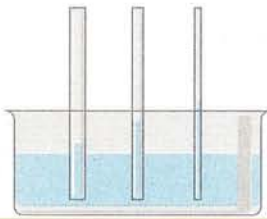
Vários são os nutrientes minerais de que a planta necessita para o seu desenvolvimento normal. Alguns deles são necessários em grande quantidade e por isso recebem o nome de **macronutrientes**; outros são necessários em quantidades menores e por isso são chamados de **micronutrientes**. Solos pobres em nutrientes precisam ser adubados.

Os macronutrientes minerais são o nitrogênio, o potássio, o fósforo, o cálcio, o enxofre e o magnésio; os micronutrientes minerais são o ferro, o manganês, o boro, o zinco, o cobre, o molibdênio e o cloro.

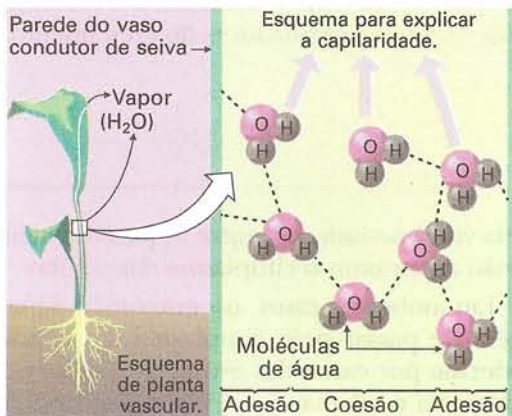
3. Condução da seiva bruta

O xilema apresenta os traqueídeos, células mortas que se dispõem de modo a formar longos e estreitos canais desde a raiz até as folhas. Sendo estreitos, poderíamos supor que a água ascendesse por capilaridade, devido à propriedade de adesão e coesão que as moléculas de água possuem. Por capilaridade, a água sobe espontaneamente em tubos, e quanto mais finos eles forem, mais alto a água subirá. A ascensão, no entanto, cessa quando o peso da coluna líquida torna-se maior do que a adesão das moléculas de água à parede do tubo. Esse fenômeno é capaz de elevar a seiva bruta a menos de

1 metro do solo, não explicando o transporte em plantas maiores.



Esquema de experimento de capilaridade: quanto mais fino é o tubo, mais a água sobe em seu interior; contudo há uma altura limite para cada capilar.



As moléculas de água têm atração por outras moléculas polares, fenômeno denominado **adesão**. A atração entre moléculas de água é chamada **coesão**. As moléculas de água aderem-se à superfície interna dos capilares e tendem a puxar as demais moléculas, que estão unidas por coesão.

Existem outras duas teorias para explicar a condução da seiva bruta das raízes até as folhas: pressão positiva da raiz e coesão-tensão.

A **pressão positiva** ou **impulso da raiz** está relacionada com o transporte ativo de sais para o interior do xilema da raiz, o que provoca aumento da concentração osmótica em relação à solução aquosa do solo. Com isso, há grande entrada de água por osmose no xilema da raiz, impulsionando a seiva bruta para cima.

Esse fenômeno está restrito a algumas plantas de pequeno porte submetidas a certas condições especiais, como solos ricos em água e umidade do ar elevada. Nessas condições, o excesso de seiva bruta pode inclusive sair sob a forma de gotas pelos **hidatódios**, que correspondem a estômatos que perderam a capacidade de abertura e fechamento do poro e que se localizam nas bordas das folhas de certas plantas, como o morangueiro. Esse fenômeno é a **gutação**. Ela ocorre quando a transpiração é muito lenta ou ausente, o que em geral acontece

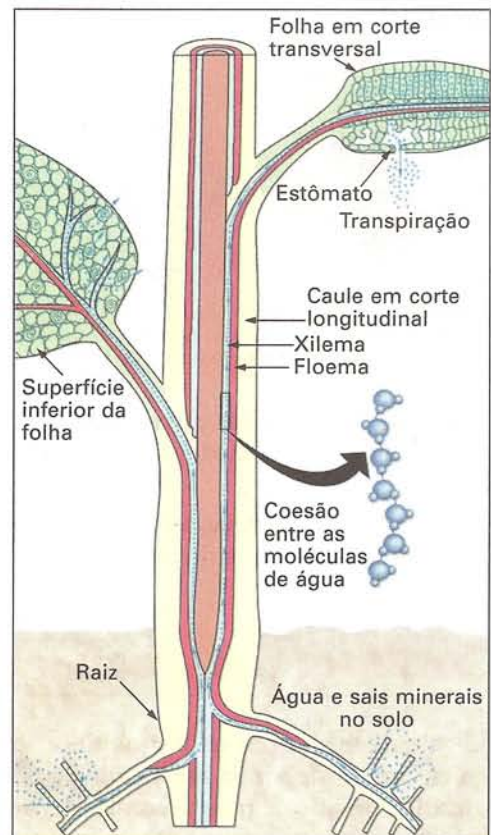
durante a noite, especialmente quando a temperatura está baixa e a umidade relativa do ar é elevada.



Fotografia de folhas de morangueiro (*Fragaria*) em processo de gutação.

A pressão da raiz não explica a condução da seiva bruta até a copa de árvores altas. O que melhor explica essa condução é a teoria da **coesão-tensão**, formulada pelo botânico Henry Dixon e, por isso, também conhecida por **teoria de Dixon**.

Segundo essa teoria, a perda de água por transpiração nas folhas atuaria como uma forma de sucção da água.



Esquema mostrando o processo da transpiração e o transporte de seiva bruta (cores-fantasia).

A perda de água por transpiração nas folhas faz com que suas células fiquem com força de sucção aumentada. Com isso, tendem a absorver, por osmose, água do xilema, onde a concentração é menor. A água passa então do xilema para as células do clorênquima das folhas. Como as moléculas de água ficam muito coesas, elas permanecem unidas entre si e são puxadas sob tensão. Forma-se, assim, uma coluna contínua de

água no interior do xilema, desde as raízes até as folhas.

Nessas condições, a água é absorvida do solo rapidamente pelas raízes ou mesmo sem elas. É o que acontece quando colocamos ramos de flores em vasos com água.

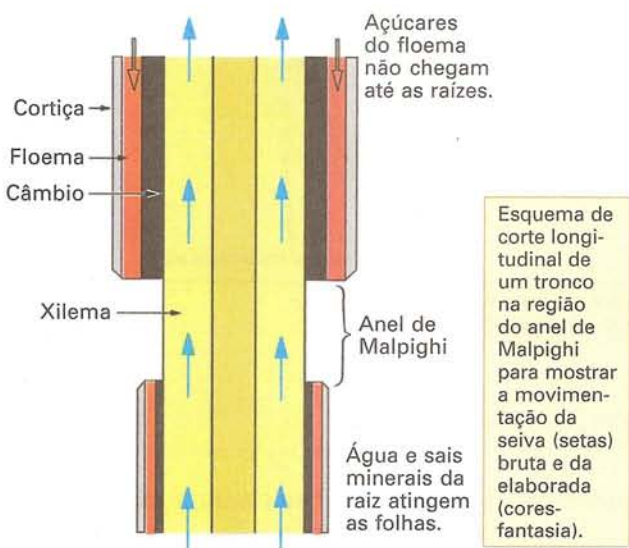
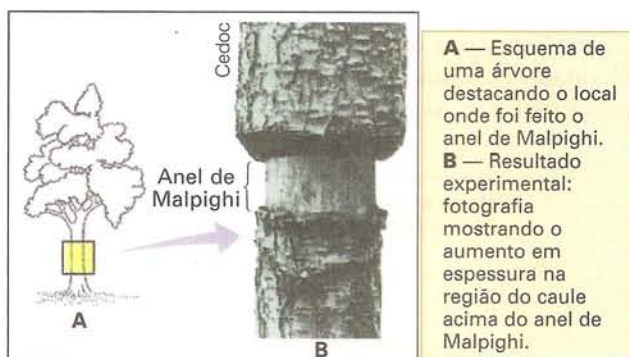
Segundo essa teoria da coesão-tensão, portanto, a absorção e a condução de água estão relacionadas com a transpiração.

4. Condução da seiva elaborada

A seiva elaborada, rica em açúcares produzidos por fotossíntese, é conduzida das folhas para as diversas partes da planta através dos elementos criados do floema ou líber.

Nas dicotiledôneas e nas gimnospermas, os vasos liberianos localizam-se na casca do caule, enquanto os vasos lenhosos, que conduzem a seiva bruta, localizam-se mais internamente. A seiva elaborada circula, portanto, pela casca do caule.

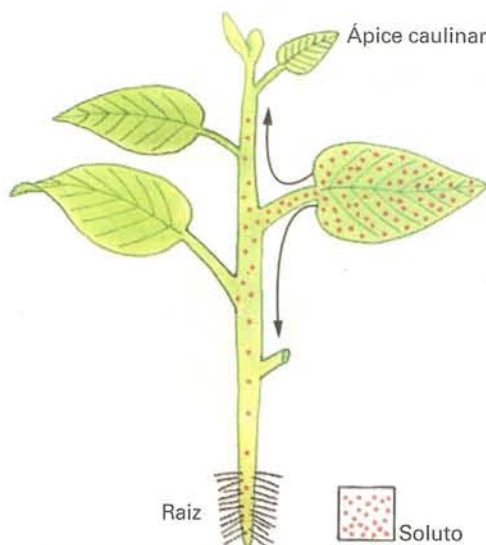
Retirando-se um anel completo da casca de um tronco (**anel de Malpighi**), podemos notar, após algumas semanas, que a casca logo acima do corte fica com acúmulo de seiva elaborada, o que estimula a formação de tecido no local.



As folhas continuam a receber a seiva bruta, mas as raízes e demais partes abaixo do corte deixarão de receber a seiva elaborada. Dessa forma, por falta de nutrição das raízes, a planta morrerá.

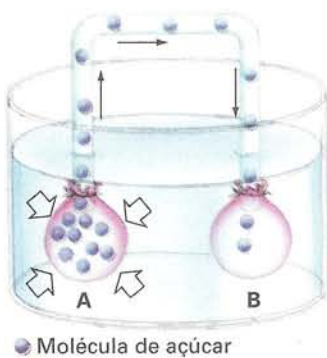
A condução da seiva elaborada é denominada **translocação**.

A explicação mais aceita para a translocação foi proposta pelo botânico Ernst **Munch**, em 1927, e é denominada **Teoria do fluxo em massa** ou **Teoria do fluxo por pressão** ou, ainda, **Teoria do equilíbrio osmótico**. Segundo essa teoria, a seiva elaborada move-se através do floema, ao longo de um gradiente decrescente de concentração, desde o local em que é produzida (concentração alta) até o local em que é consumida (concentração baixa).



A hipótese do fluxo em massa pode ser demonstrada por meio de um modelo físico simples. Acoplam-se dois balões (denominados **A** e **B**), feitos com membranas semipermeáveis, a um tubo de vidro em U. No balão **A** coloca-se uma solução concentrada de açúcar e no **B**, água destilada. Esses ba-

lões, assim montados, são mergulhados em um recipiente contendo água destilada.



Esquema de um experimento para demonstrar a translocação. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Verifica-se que a água do recipiente penetra por osmose no balão A, onde a pressão osmótica é maior. A entrada de água em A determina o deslocamento da solução de açúcar através do tubo em U em direção ao balão B, onde a pressão osmótica é inicialmente nula.

Nesse exemplo, o balão A representa a folha produtora de açúcar, o tubo em U, o floema, e o balão B, a raiz, que consome o açúcar. A diferença de pressão osmótica entre esses dois balões determinou o deslocamento da solução de açúcar do local em que é mais concentrada (balão A) até o local em que é menos concentrada (balão B).

5. Transpiração

A transpiração corresponde à perda de água sob a forma de vapor. É o principal mecanismo por meio do qual a água absorvida pela planta é perdida para o meio ambiente.

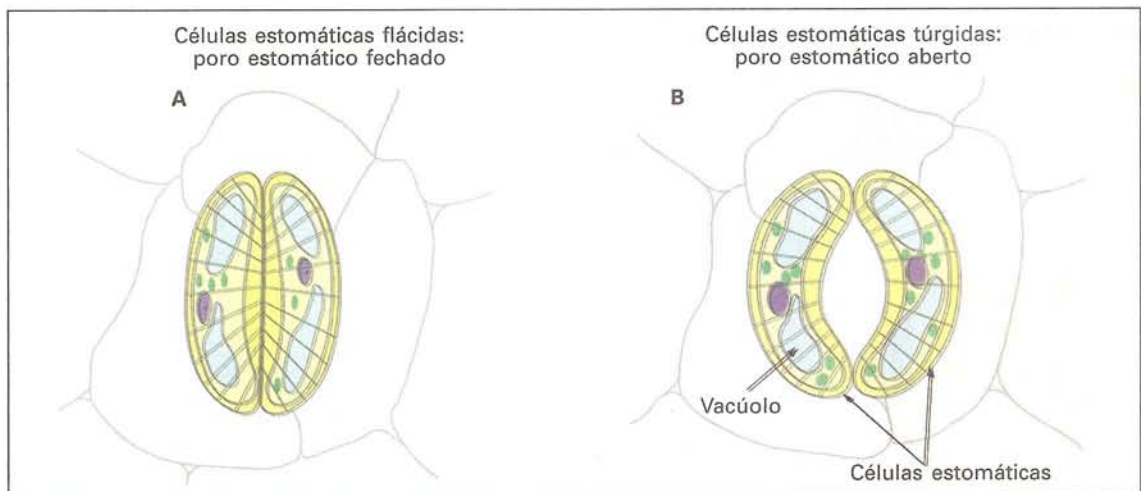
O principal órgão da planta responsável por essa função é a folha, e será nela que deteremos nossa atenção.

Na folha, a transpiração pode ocorrer através da cutícula que reveste a epiderme, recebendo o nome de **transpiração cuticular**, ou através dos estômatos, sendo então denominada **transpiração estomática**.

A transpiração cuticular é pouco intensa e independe do controle do organismo.

A transpiração estomática é o principal mecanismo de perda de água pela planta e depende do controle do organismo.

A abertura e o fechamento dos estômatos são controlados por diversos fatores, sendo o principal deles a água. Se as plantas estiverem com suprimento adequado de água, as células estomáticas permanecem túrgidas, mantendo o poro aberto; com suprimento insuficiente, as células perdem água e conseqüentemente o turgor, e fecham o poro.



Esquema em vista frontal da epiderme de folha, feito com base em observações ao microscópio de luz, mostrando o poro estomático fechado (A) e aberto (B) (cores-fantasia).

6. Fotossíntese versus respiração

Os alimentos produzidos por fotossíntese são utilizados pela própria planta para a execução das diferentes funções vitais. A liberação da energia desses alimentos é feita pela respiração.

Do equilíbrio entre esses dois processos dependem, em grande parte, a nutrição e o desenvolvimento da planta. A fotossíntese é um processo que depende da luz. Até certo ponto, aumentando-se a intensidade luminosa, há aumento da taxa de fotossíntese. Já a respiração é um processo que independe da luz, como mostra o gráfico ao lado.

A intensidade luminosa na qual a taxa de fotossíntese se iguala à da respiração é denominada **ponto de compensação fótica (PC)**. Nessa intensidade de luz, todo o oxigênio produzido por fotossíntese é consumido pela respiração, e todo o gás carbônico produzido por respiração é consumido pela fotossíntese.

O valor do PC varia dependendo da espécie de planta. Existem as chamadas plantas de sol ou **heliófilas** (*helios* = sol; *philo* = amigo), que necessitam de muita luz para viver e possuem PC elevado. Já as chamadas plantas de sombra ou **umbrófilas** (*umbro* = sombra) precisam de pouca luz para viver e possuem PC baixo.

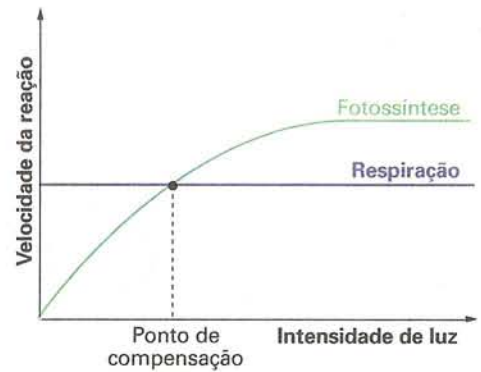


Gráfico da velocidade da reação da fotossíntese e da respiração em função da intensidade de luz.

7. Hormônios vegetais

Os hormônios vegetais (ou **fitormônios**) atuam sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Os principais são: **auxinas**, **giberelinas**, **citocininas**, **ácido abscísico** e **etileno**.

7.1. Auxinas

Existem vários tipos de auxinas naturais, produzidas pela própria planta, embora existam também auxinas sintéticas, fabricadas em laboratório.

A principal auxina natural é o **AIA** (ácido indol-acético), produzido no ápice caulinar, em folhas jovens e em sementes em desenvolvimento.

São vários os efeitos das auxinas sobre as plantas, como resumido a seguir:

- **crescimento do caule e da raiz:** promovem alongamento das células e não sua divisão; concentrações baixas de auxinas podem ser suficientes para estimular o crescimento da raiz, mas não do caule. Por outro lado, concentrações elevadas de auxinas estimulam o crescimento do caule e inibem o crescimento da raiz;

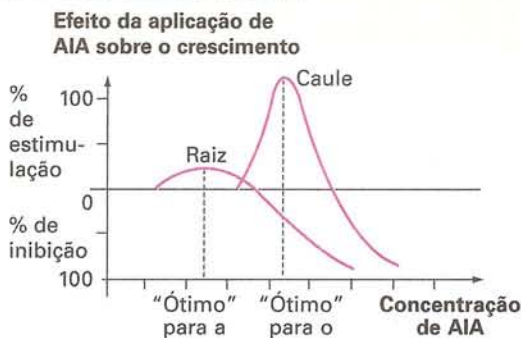
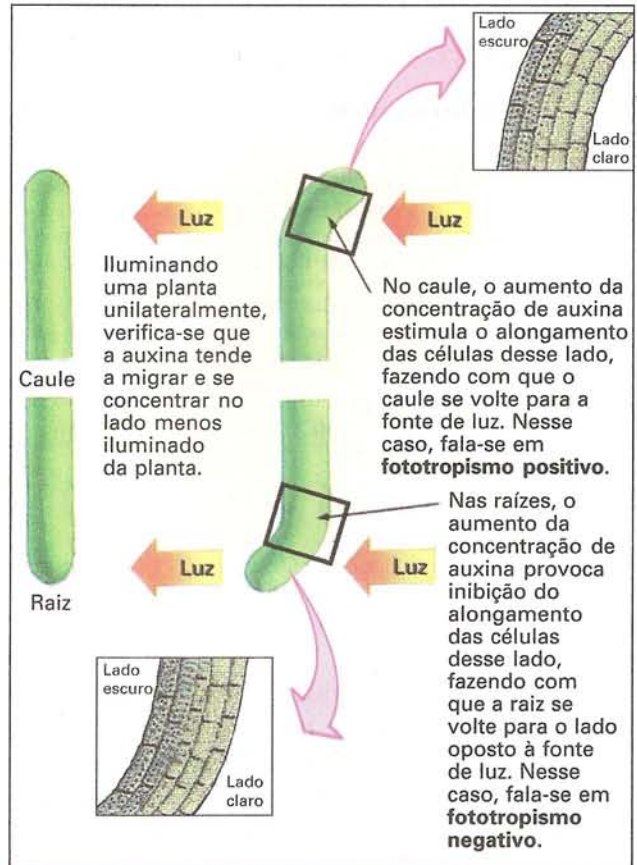
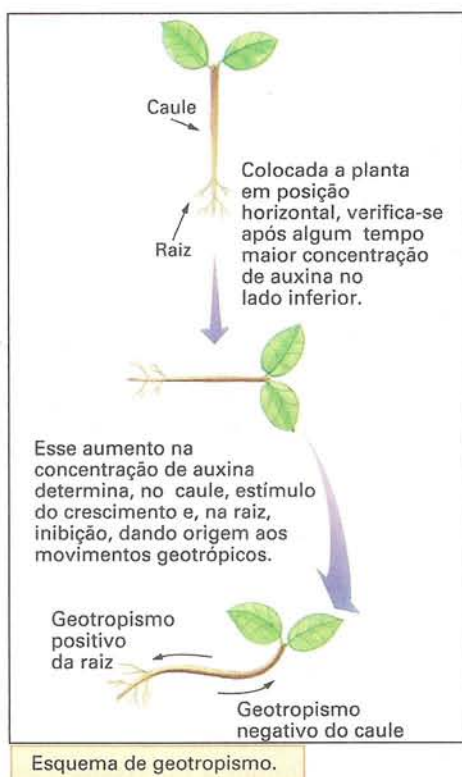


Gráfico do efeito da aplicação de diferentes concentrações de AIA sobre o crescimento da raiz e do caule.

- **tropismos:** as auxinas controlam os tropismos, que são movimentos orientados por um estímulo e que ocorrem em função do crescimento. São exemplos de estímulos a luz (**fototropismo**) e a força da gravidade da Terra (**gravitropismo** ou **geotropismo**);



Esquema de fototropismo (cores-fantasia).



- **dominância apical:** auxinas produzidas pelo meristema apical do caule inibem a atividade das

gemas axilares mais próximas do ápice. Ao retirar a gema apical as gemas axilares saem do estado de dormência e originam ramos laterais, folhas e flores. É com base nesse princípio que se efetua a poda das plantas, para que elas desenvolvam vários ramos laterais;

- **produção de raízes adventícias:** as auxinas fazem com que grupos de células se desdiferenciem, voltando a exercer atividade meristemática e formando raízes adventícias;
- **formação de frutos:** após a fecundação, os óvulos dão origem às sementes, que durante seu desenvolvimento produzem grande quantidade de auxinas que estimulam o ovário a formar o fruto. Aplicadas diretamente em ovários em que não houve a fecundação, essas auxinas promovem a partenocarpia;
- **abscisão (amputação, separação, poda natural):** as folhas mais velhas apresentam concentração de auxina inferior à do caule, o que determina a formação de uma camada de abscisão no ponto de inserção do pecíolo, causando a queda da folha.

7.2. Outros fitormônios

O quadro seguinte resume os efeitos e os locais de produção de outros hormônios vegetais:

Hormônio	Local de produção e efeito
Giberelinas	Produzidas em meristemas, folhas jovens, sementes imaturas e frutos. Estimulam o alongamento e a divisão celular. Promovem alongamento caulinar, germinação de sementes, crescimento de folhas, produção de flores e frutos (também induzem a partenocarpia).
Citocininas	Produzidas nas raízes e conduzidas para toda a planta. Estimulam a divisão e a diferenciação celular, a diferenciação e o crescimento de raízes; induzem o desenvolvimento de gemas laterais e retardam o envelhecimento da planta.
Etileno	Gás produzido em várias partes das plantas. Atua na indução do amadurecimento de frutos e promove a abscisão foliar.
Ácido abscísico (ABA)	Produzido nas folhas, no caule e no ápice radicular. Inibe o crescimento das plantas, induzindo a dormência de gemas e de sementes. Induz o fechamento dos estômatos.

8. Efeitos da luz sobre o desenvolvimento da planta

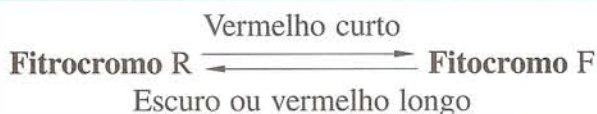
A importância da luz não está restrita apenas ao papel que ela exerce na fotossíntese, mas também na morfogênese vegetal. Os principais efeitos morfogenéticos da luz referem-se à germinação das sementes, ao estiolamento, ao desenvolvimento normal e à floração. São esses os efeitos que passaremos a analisar agora.

8.1. Fitocromo

Os efeitos morfogenéticos mencionados estão relacionados à captação da luz por um pigmento especial denominado **fitocromo**.

Esse pigmento ocorre sob duas formas: uma delas, inativa, chamada **fitocromo R**, e outra, ativa, chamada **fitocromo F**.

O fitocromo R transforma-se em fitocromo F ao absorver luz vermelha de comprimento de onda ao redor de 660 nanômetros (vermelho curto). O fitocromo F desencadeia algumas respostas fisiológicas das plantas. Ele pode ser convertido em fitocromo R ao absorver luz vermelha de comprimento de onda ao redor de 760 nanômetros (vermelho longo) ou se permanecer no escuro.



Durante o dia as plantas recebem tanto o vermelho curto como o vermelho longo, mas o equilíbrio fica deslocado para o fitocromo F. Durante a noite, esse fitocromo converte-se em fitocromo R.

8.2. Luz e germinação das sementes: fotoblastismo

O efeito da luz sobre a germinação das sementes é denominado **fotoblastismo**.

Algumas sementes germinam apenas quando estimuladas pela luz, como as de alfaca, bétula e estêvia; elas são chamadas de fotoblásticas positivas. Outras, como as de melancia, no entanto, têm a germinação inibida pela luz; elas são chamadas de fotoblásticas negativas.

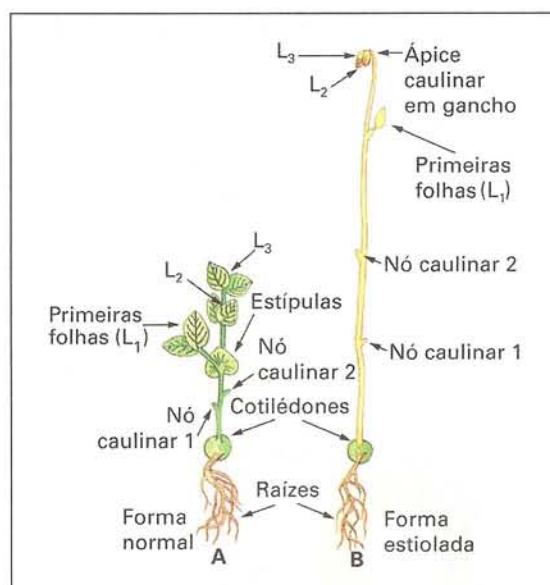
Na presença de luz, o fitocromo F acumula-se nas sementes, induzindo a germinação das fotoblásticas positivas e inibindo a das fotoblásticas negativas.

8.3. Luz e estiolamento

Estiolamento é o conjunto das características apresentadas por uma planta que se desenvolve no escuro.

As principais características de uma planta

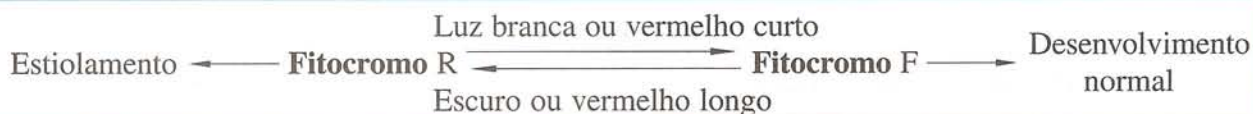
estiolada são: ausência de clorofila, apresentando cor branco-amarelada, folhas pequenas, caule muito mais longo do que o normal e ápice caulinar em forma de gancho.



Esquemas de germinação de sementes de ervilha na luz (A) e no escuro (B), representados na mesma proporção para comparação dos tamanhos relativos.

O estiolamento é um mecanismo adaptativo que faz com que na germinação de sementes enterradas profundamente no solo as plantas jovens alonguem-se rapidamente em direção à superfície, sem formar folhas, que poderiam ser danificadas pelo atrito com os grãos do sedimento. Além disso, o ápice caulinar em forma de gancho protege os primórdios foliares e o meristema apical contra o atrito com o solo.

Ao atingir a luz, a planta passa a ter desenvolvimento normal.



8.4. Luz e floração: fotoperiodismo

Fotoperiodismo são respostas biológicas relacionadas com a duração do dia e da noite, duração essa que varia ao longo das estações do ano. As plantas conseguem perceber essas variações por meio do fitocromo e têm a floração influenciada por elas.

Logo no início dos estudos sobre fotoperiodismo, os pesquisadores achavam que o fator determinante da floração era a duração do dia. Somente depois é que verificaram que as plantas possuem um fotoperíodo crítico, relacionado com a duração do

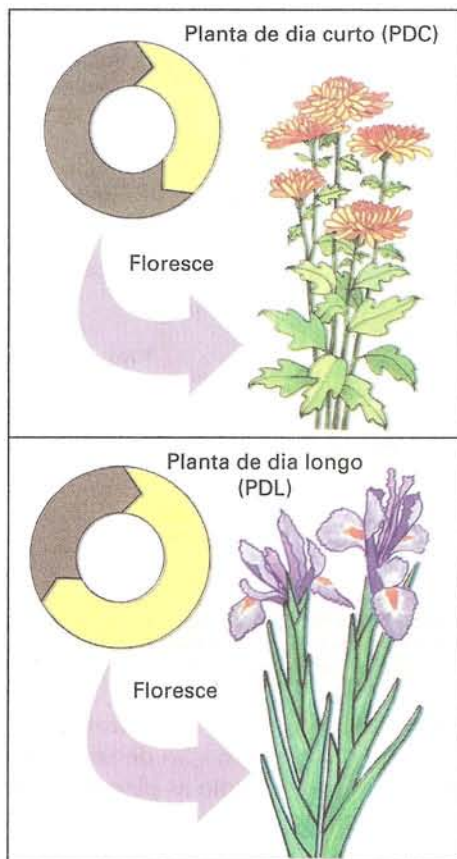
período de escuro, ou seja, com a duração da noite. Os cientistas verificaram que é a duração da noite — e não a do dia — que determina a floração.

Quanto ao fotoperiodismo, as plantas podem ser classificadas em neutras, de dias curtos e de dias longos.

As **plantas neutras** florescem independentemente do comprimento da noite. É o caso do tomate, do feijão e do milho.

As **plantas de dias curtos** florescem quando submetidas a um período de escuro igual ou maior que o fotoperíodo crítico. É o caso do picão, do morango, do crisântemo e das primulas.

As **plantas de dias longos** florescem quando submetidas a períodos de escuro inferiores ao fotoperíodo crítico. É o caso do espinafre, da alface, do trigo e da cevada.

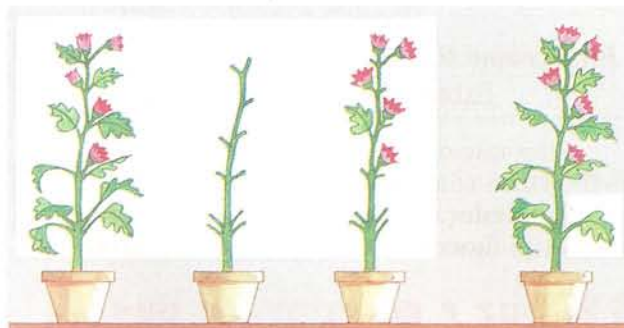


Esquemas de fotoperíodo.

Várias pesquisas sobre floração têm demonstrado que os fitocromos localizados nas folhas é que participam da floração. Existem fortes indícios de que esses fitocromos desencadeariam a síntese de

certos hormônios, os quais migrariam das folhas até a gema, através do floema, induzindo a floração. Esses hormônios são genericamente chamados de **florigenos** ou **hormônios da floração**.

As experimentações resumidas a seguir mostram a importância da folha como receptora da luz para a floração e indicam a existência de hormônios da floração, que migram da folha para outras partes da planta.

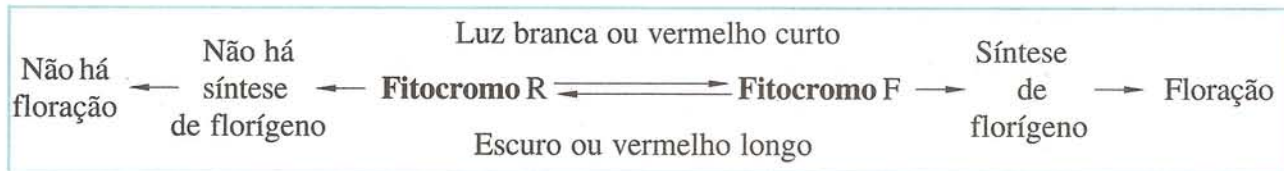


Esquema mostrando resultados de experimentos sobre fotoperíodo. As partes claras da figura indicam as regiões das plantas que receberam luz por períodos adequados. Somente as plantas com folhas florescem, quando submetidas ao fotoperíodo adequado. Isso ocorre mesmo que a planta tenha apenas uma folha ou se apenas uma das folhas for iluminada.



Esquema do resultado do experimento em que se enerta um ramo de planta exposta ao fotoperíodo adequado em outra planta mantida no escuro. Nota-se que ocorre a floração nas duas plantas.

A interação entre os fitocromos, os florigenos e a floração poderia ser resumida do seguinte modo:



QUESTÕES PARA ESTUDO

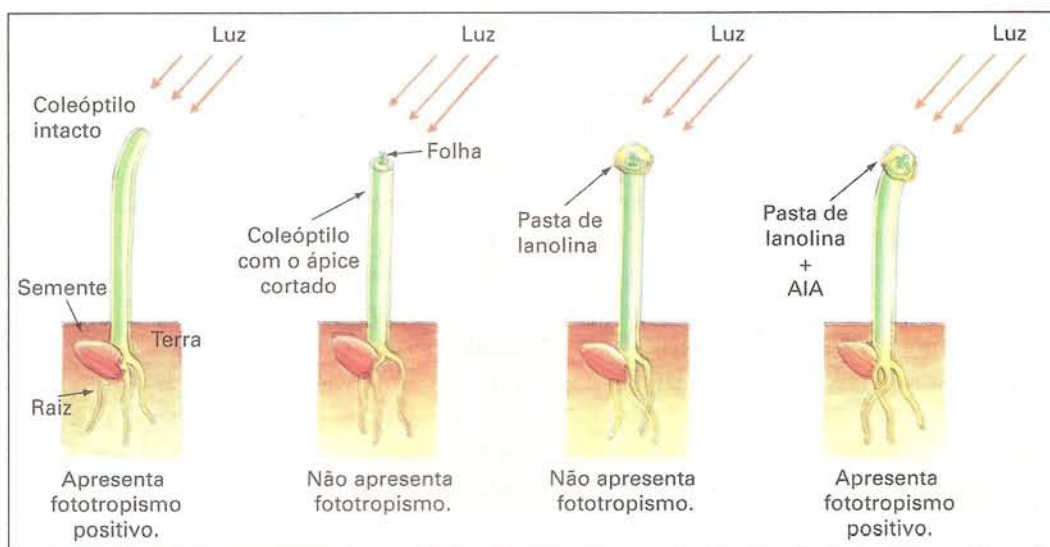
1. Comente os mecanismos que procuram explicar a absorção de água e sais minerais nas plantas.
2. Comente os mecanismos que procuram explicar a condução da seiva bruta nas plantas.

3. Compare a condução da seiva bruta com a da seiva elaborada, lembrando de mencionar o principal tipo de célula envolvida nesses processos nos respectivos vasos condutores.

4. Uma técnica muito interessante de cultivo de plantas, principalmente visando à produção de alimentos para os seres humanos, é a **hidroponia**. Nesse caso, as plantas são cultivadas com suas raízes imersas em solução aquosa aerada e bem balanceada, com a quantidade adequada de sais minerais. Essas plantas não entram em contato com o solo. Procure saber se na região onde você mora essa técnica é empregada. Em algumas cidades, as plantas hidropônicas, como alface, por exemplo, são vendidas em supermercados. Redija um texto sobre as vantagens dessa técnica em relação ao cultivo tradicional no solo e discuta com seus colegas e seu professor.

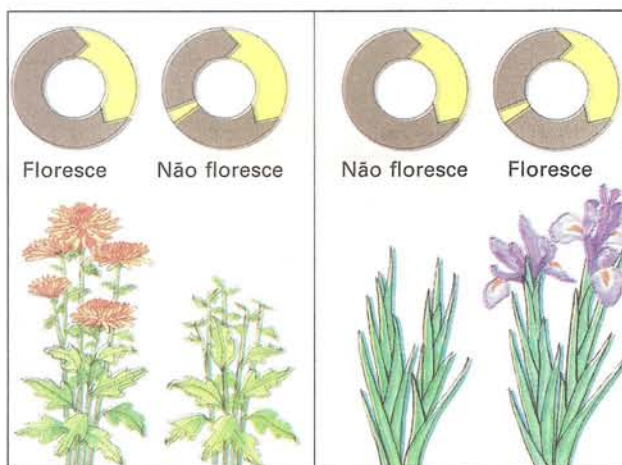
5. No capítulo foi analisada a influência da intensidade de luz na fotossíntese. Essa, no entanto, não é a única variável ambiental que afeta esse processo biológico. Temperaturas acima de 45 °C provocam drástica redução da fotossíntese. Explique por que, retomando seus conhecimentos sobre a atividade enzimática e os processos fotossintéticos.

6. Visando compreender o fototropismo nas plantas, um pesquisador montou experimentações utilizando coleóptilos de aveia, que estão esquematizados a seguir. Analise-as e depois responda ao que é pedido. Explique a importância, nessa experimentação, de terem sido colocados coleóptilos intactos juntamente com os que estão sendo manipulados. Explique também os resultados dessa experimentação.



Esquema de experimentos sobre fototropismo.

7. Várias experimentações foram feitas pelos cientistas no sentido de descobrir o que desencadeia a floração. Uma delas está resumida na figura a seguir, que mostra duas plantas distintas submetidas às mesmas condições experimentais de iluminação (em amarelo) e de escuro (em cinza). Interprete-a e classifique essas plantas quanto ao fotoperiodismo.

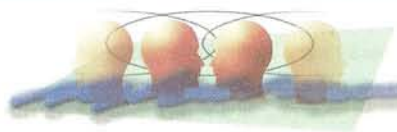


8. Conceitue transpiração vegetal e aponte duas diferenças entre transpiração cuticular e transpiração estomática.

9. Sobre o processo de gutação das plantas, diga em que ele consiste, quais são as estruturas envolvidas e explique em que condições ocorre.

10. Explique o que é ponto de compensação fótico e diferencie plantas heliófilas de umbrófilas.

11. Monte uma tabela que mostre os principais fitormônios e seus efeitos na planta.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Um triste exemplo de conhecimento biológico mal-utilizado

Os conhecimentos biológicos, desde que bem empregados, podem contribuir em muito para a melhoria da qualidade de vida do ser humano, possibilitando convívio harmônico com os demais seres vivos e com os fatores abióticos e naturais do meio.

Infelizmente nem sempre isso acontece.

Vamos relembrar um dos tristes momentos que a humanidade viveu: a guerra do Vietnã, que durou 21 anos, de 1954 a 1975. Nessa guerra foi empregado como tática para localizar o inimigo nas densas florestas da região um potente desfolhante: o agente laranja. Este era lançado por aviões sobre extensas áreas de florestas, provocando como primeiro efeito a queda das folhas e depois a morte de muitas árvores. Esse agente foi desenvolvido tomando como base a atuação dos fitormônios na abscisão foliar.

O agente laranja é um composto formado por duas substâncias sintéticas: o 2,4-D e o 2,4,5-T. O primeiro é muito empregado como herbicida, matando ervas daninhas de folhas largas; já o 2,4,5-T vem acom-

panhado de dioxina, um potente agente teratogênico (capaz de provocar malformações nos fetos) que permanece muito tempo no meio. Os dois compostos atuando em conjunto provocam não só a queda das folhas como tumores nas plantas.

A contaminação da água de rios e do solo foi um dos graves problemas decorrentes da dioxina. Houve grande mortalidade de peixes e de outros animais e aumento de casos de bebês com deformações.

Esse é um exemplo que deve ser lembrado para não ser repetido.

Cresce a cada dia a necessidade de se desenvolver uma postura ética diante dos conhecimentos biológicos, principalmente porque esses conhecimentos vêm aumentando muito nos últimos tempos, trazendo informações que têm permitido ao ser humano manipular cada vez mais o meio ambiente e os seres vivos. O ser humano deve parar para pensar até onde pode ir na sua capacidade de manipulação da vida.

- Pondere sobre a influência cada vez maior da interferência humana no ambiente e na manipulação dos seres vivos. Depois discuta como se pode tentar estabelecer uma relação harmoniosa visando ao bem do meio ambiente e dos seres vivos.



TESTES

1. (UFSE) Hidroponia é a técnica na qual as plantas são cultivadas em:

- soluções balanceadas de sais minerais, bem arejadas e na presença de luz.
- soluções balanceadas de sais minerais, na ausência de oxigênio e sem luz.
- ausência de água, mas em presença de luz.
- água destilada bem arejada, em presença de luz.
- pouca água contendo solutos orgânicos, em ausência de luz.

2. (UFJF-MG) Indique a alternativa que apresenta a associação **correta** entre a estrutura e o processo envolvidos com a eliminação de água, no estado líquido, pelas plantas:

- pêlos absorventes — absorção.
- hidatódios — gutação.
- haustórios — transpiração.
- gavinhas — evaporação.

3. (UFRN) Leia o fragmento que segue, extraído de *Asa Branca* (Luís Gonzaga e Humberto Teixeira):

Que braseiro, que fornaia,
Nem um pé de prantação,
Por farta d'água, perdi meu gado,
Morreu de sede meu alazão...

As espécies vegetais típicas do contexto geográfico focalizado acima apresentam as seguintes adaptações:

- rápido mecanismo de abertura e fechamento de estômatos — folhas cerificadas.

- b) presença de estruturas foliares modificadas em espinhos — raízes adventícias.
- c) aumento significativo da superfície foliar — raízes com alto poder absorvivo.
- d) capacidade de armazenamento de água — associação de micorrizas.

4. (UFCE) A água e os sais minerais absorvidos pelas raízes atingem todas as folhas da copa de uma árvore. Através da transpiração foliar, a água é perdida para a atmosfera e o déficit hídrico gerado no interior da folha é prontamente revertido pela absorção radicular. A teoria da **coesão-tensão** é a mais aceita atualmente para explicar a condução da seiva bruta no interior das plantas vasculares e pressupõe:

- a) que o fenômeno da capilaridade, resultante das propriedades de adesão e coesão da água, é o responsável pela elevação da seiva bruta, através do caule, para a copa das grandes árvores.
- b) que os sais minerais acumulados no interior do xilema radicular desenvolvem uma grande pressão osmótica, impulsionando a seiva bruta até a copa das árvores.
- c) que a transpiração pelas folhas provoca uma tensão no interior do xilema, succionando e elevando a coluna de seiva bruta, que é contínua e mantida unida pelas forças de coesão entre as moléculas de água.
- d) que a tensão, exercida pela pressão positiva da raiz, succiona a seiva bruta até as folhas e a coluna de água eleva-se pelas forças de adesão entre as suas moléculas e as paredes dos vasos do xilema.
- e) que a capilaridade é a grande força impulsionadora da seiva bruta, uma vez que os vasos do xilema apresentam um diâmetro diminuto, facilitando a adesão com as moléculas de água e a elevação da coluna a grandes distâncias do solo.

5. (PUC-SP) O professor levou para a aula de Biologia seis mamões verdes. Riscou com uma faca três dos mamões e em seguida os embrulhou com jornal (lote A). Os outros três não foram riscados e nem envolvidos em jornal (lote B). Os mamões do lote A amadureceram mais rapidamente que os do lote B.

Essa diferença no tempo de amadurecimento se deve a:

- a) maior concentração de etileno no lote A, o que acelera o amadurecimento dos frutos.
- b) menor concentração de etileno no lote A, o que acelera o amadurecimento dos frutos.
- c) maior concentração de etileno no lote B, o que retarda o amadurecimento dos frutos.
- d) maior concentração de auxinas no lote B, o que retarda o amadurecimento dos frutos.
- e) maior concentração de auxinas no lote A, o que acelera o amadurecimento dos frutos.

6. (MACK-SP)

- I — É produzido principalmente no meristema apical da raiz.
- II — O seu principal efeito é promover o crescimento das raízes e caules.
- III — Inibe o desenvolvimento das gemas laterais.
- IV — Estimula o crescimento e amadurecimento dos frutos.

Das afirmações acima, a respeito do hormônio vegetal **auxina**, são verdadeiras:

- a) I, II, III e IV.
- b) apenas I, III e IV.
- c) apenas III e IV.
- d) apenas I, II e III.
- e) apenas II, III e IV.



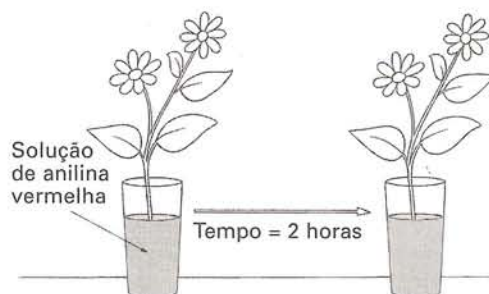
QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) A transpiração é importante para o vegetal por auxiliar no movimento de ascensão da água através do caule. A transpiração nas folhas cria uma força de sucção sobre a coluna contínua de água do xilema: à medida que esta se eleva, mais água é fornecida à planta.

- a) Indique a estrutura que permite a transpiração na folha e a que permite a entrada de água na raiz.
- b) Mencione duas maneiras pelas quais as plantas evitam a transpiração.
- c) Se a transpiração é importante, por que a planta apresenta mecanismos para evitá-la?

2. (UFPB) Um florista, que só dispunha de flores brancas em sua loja, resolveu tentar colori-las de vermelho. Para isto, em um vaso com água, dissolveu anilina vermelha e mergulhou, nessa solução, a haste de um ramo de flores brancas. Após 2 horas, as flores ficaram coloridas de vermelho (veja o esquema ao lado).

Como se explica o resultado obtido?



3. (UFCE) Atualmente é comum haver, em muitos supermercados da cidade, verduras que foram cultivadas através da técnica da hidroponia, ou seja, do cultivo em soluções de nutrientes inorgânicos e não no solo. Pergunta-se:

- Como são classificados os nutrientes inorgânicos essenciais, adicionados à solução? Cite 2 (dois) exemplos de cada grupo.
- Por que a solução de nutrientes utilizada na hidroponia deve ser continuamente aerada?

4. (Fuvest-SP) A remoção de um anel da casca do tronco de uma árvore provoca um espessamento na região situada logo acima do anel. A árvore acaba morrendo.

- O que causa o espessamento? Por quê?
- Por que a árvore morre?
- Se o mesmo procedimento for feito num ramo, as folhas ou frutos desse ramo tenderão a se desenvolver mais do que os de um ramo normal. Por que isso ocorre?
- No inverno, em regiões temperadas, a remoção do anel não causa espessamento nas árvores que perdem folhas. Por quê?

5. (Unesp-SP) Em ruas e avenidas arborizadas, periodicamente as companhias distribuidoras de eletricidade realizam cortes da parte superior das árvores que estão em contato com os fios elétricos de alta tensão. As podas são necessárias para se evitar problemas que podem ocorrer em dias chuvosos e de fortes ventos.

- O que deverá acontecer com as árvores após o corte da região apical que estava atingindo os fios elétricos?
- Que mecanismo explica o resultado obtido com o corte da região apical?

6. (UFCE) A **dicogamia**, condição na qual os estames e carpelos de uma flor hermafrodita (monoclina) amadurecem em períodos distintos, e a **partenocarpia**, formação de frutos sem sementes, são fenômenos que ocorrem nas angiospermas. Pergunta-se:

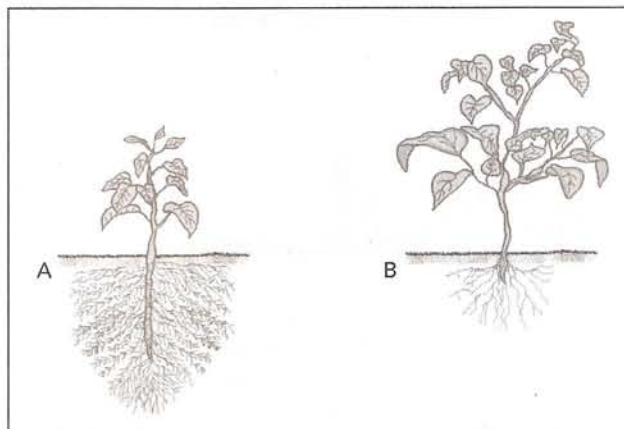
- Qual a consequência direta da **dicogamia** na reprodução sexuada das plantas e por que essa característica favorece a adaptação ambiental e a sobrevivência da população vegetal que a apresenta?
- Como as plantas que só formam frutos partenocárpicos se reproduzem naturalmente?
- Como é possível a produção artificial de frutos partenocárpicos, uma prática importante na fruticultura?

7. (Unesp-SP) A variedade laranja-da-baía, também conhecida como laranja-de-umbigo, não possui semente.

- Como se dá a propagação dessa variedade?
- Qual é a vantagem da utilização desse tipo de propagação em relação à floração e frutificação?

8. (UFRJ) Dependendo das condições do solo, os vegetais podem destinar a maior parte dos nutrientes obtidos para o crescimento de seus brotos e folhas ou para o desenvolvimento de suas raízes. A figura ao lado mostra duas plantas (A e B) da mesma espécie, que possuem a mesma massa e que foram cultivadas em dois ambientes com diferentes disponibilidades de nutrientes.

Identifique qual das plantas se desenvolveu no solo com menor disponibilidade de nutrientes. Justifique sua resposta.





Introdução aos animais e estudo de Porifera e de Cnidaria

1. Introdução

O Reino Animalia é definido segundo características comuns a todos os animais: são organismos eucariontes multicelulares heterótrofos, e que obtêm seus alimentos do meio onde vivem, por ingestão.

Mesmo dentro de critérios assim tão amplos, podemos encontrar exceções entre os animais, em função de fatores diversos, como a adaptação de organismos a modos de vida especiais. É o que ocorre, por exemplo, com alguns endoparasitas que perderam a capacidade de ingerir alimentos e os obtêm por absorção direta dos líquidos do corpo do hospedeiro.

A diversidade do Reino Animal é muito grande quando comparada com a de outros reinos de seres vivos. São cerca de 35 os filos animais, mas vamos analisar apenas nove, que são os mais importantes em termos de número de espécies.

O ramo da Biologia que estuda os animais é a **Zoologia** (*zoo* = animal; *logia* = estudo).

Informalmente, os animais podem ser divididos em dois grandes grupos: o dos **invertebrados**, que não possuem vértebras, e o dos **vertebrados**, que as possuem. Os invertebrados representam grande

parte das espécies de seres vivos, como mostra a figura a seguir:

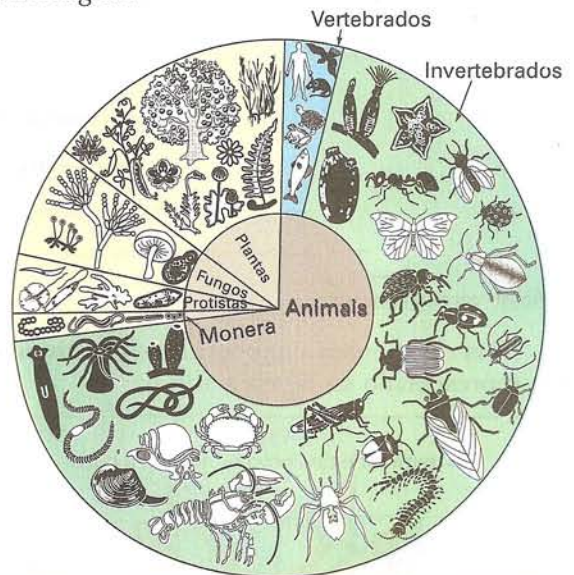


Diagrama que representa a quantidade relativa de espécies nos diferentes reinos de seres vivos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Para o estudo dos grupos animais, são muito importantes os conceitos de embriologia discutidos no capítulo 10. Sendo assim, consulte esse capítulo sempre que necessário.

2. Origem e evolução dos animais

Entender a diversidade animal e as relações evolutivas entre os diferentes grupos é um grande desafio para os cientistas.

Várias hipóteses buscam explicar essas relações, mas vamos apresentar simplificada e apenas uma delas, resumida no cladograma da página seguinte.

Nesse cladograma temos uma visão geral da origem e da evolução dos animais, com destaque para algumas das principais características que foram surgindo ao longo do tempo.

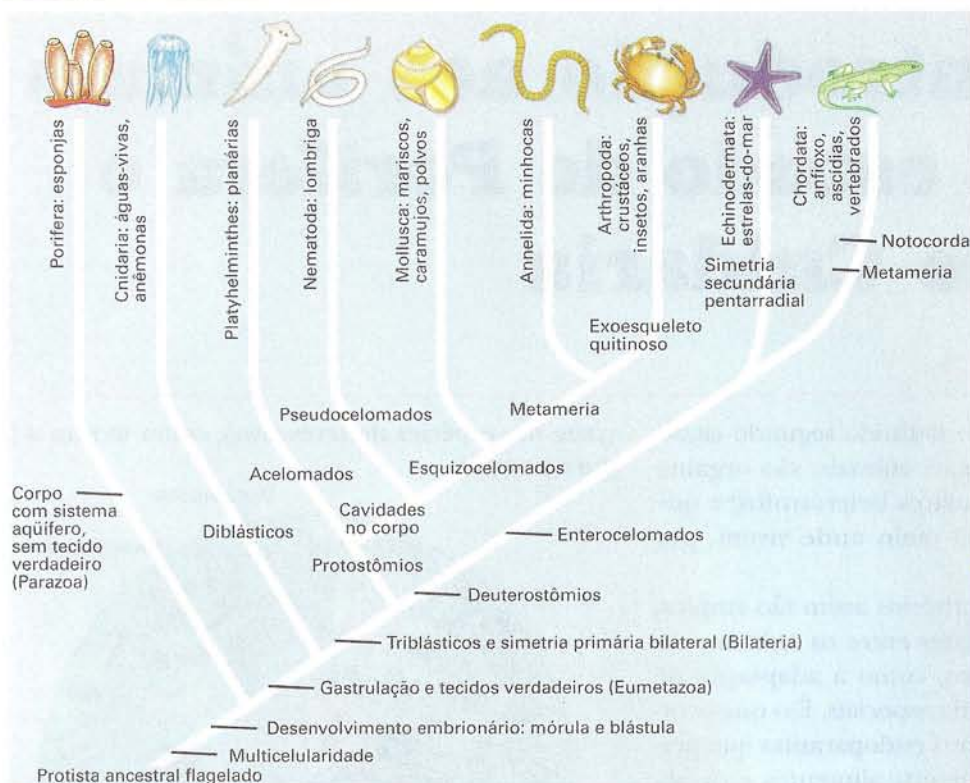
Muito provavelmente os animais derivam de protistas flagelados heterótrofos. Duas condições

teriam surgido inicialmente: a multicelularidade, que ocorre também nas plantas e em alguns fungos, e o desenvolvimento embrionário com as fases de mórula e blástula.

Os **poríferos** ou esponjas teriam derivado desses primeiros ancestrais.

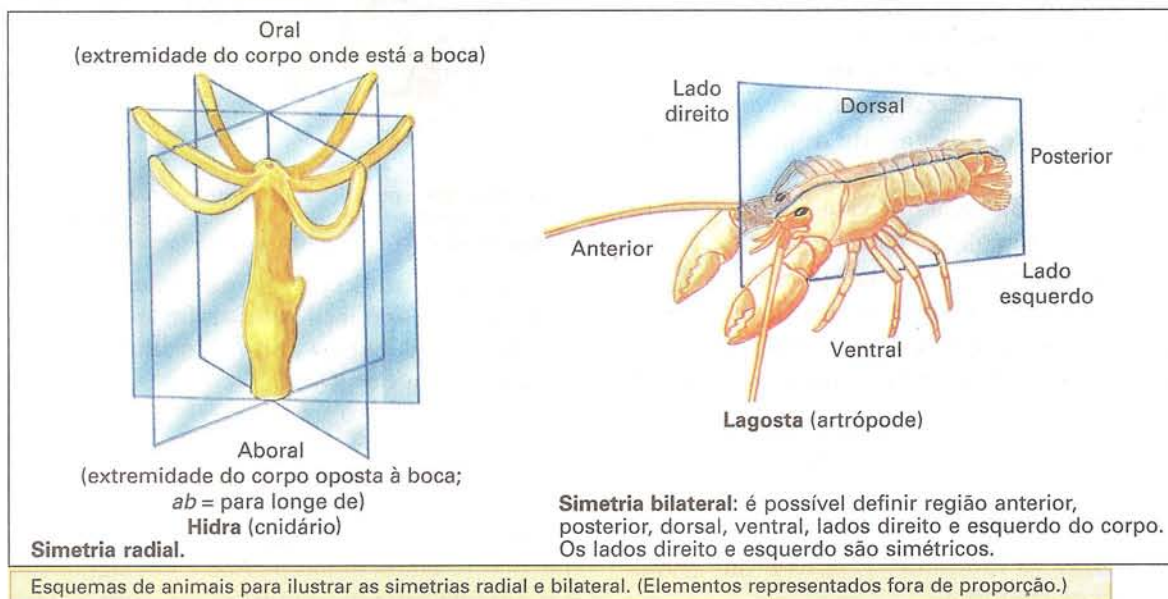
Mais tarde teria surgido o fenômeno da gastrulação, que possibilitou a diferenciação dos tecidos e do sistema digestório, condições ausentes nas esponjas.

Primeiramente teriam surgido os animais **diblásticos**, representados pelos **cnidários** (medusas e corais, por exemplo), e depois os **triblásticos**, que são todos os outros animais.



Cladograma simplificado mostrando uma das hipóteses filogenéticas de nove dos cerca de 35 filos do Reino Animal. (Elementos representados fora de proporção.)

Uma característica importante na evolução dos animais é a **simetria**, que pode ser **radial** ou **bilateral**, como representado na figura a seguir:



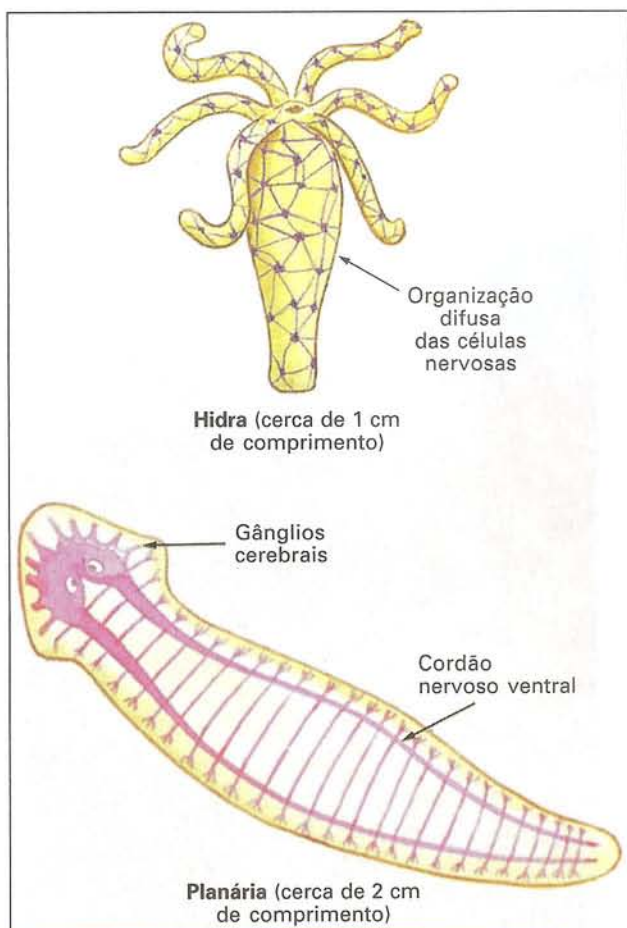
Os animais com simetria radial são coletivamente chamados **radiados** e estão representados pelos cnidários. A maioria dos animais, no entanto, apresenta simetria bilateral, sendo chamados **bilatérios**. Embora existam animais assimétricos, como é o caso de algumas esponjas, essa não é uma condição comum.

Os animais podem ter o mesmo padrão de simetria desde a fase embrionária até a adulta, mas existem casos em que a simetria verificada na fase embrionária ou larval, chamada **simetria primária**, é diferente da simetria do adulto, chamada **secundária**. É o caso dos **equinodermos** (estrelas-do-mar, por exemplo), que possuem simetria bilateral na larva e simetria radial no adulto. No caso dos equinodermos adultos dizemos que a simetria é **pentarradial**, pois o corpo deles é organizado em cinco raios.

Apesar de ocorrer simetria radial no adulto, os equinodermos são considerados bilaterais por causa da simetria bilateral da larva.

O surgimento da simetria bilateral foi acompanhado de outras modificações importantes no corpo dos animais. Nos bilaterais, o corpo apresenta uma região anterior, uma posterior, uma ventral e outra dorsal, o que não ocorre nos radiados.

O sistema nervoso, ausente nas esponjas, surge nos cnidários com os neurônios dispostos de forma difusa, relacionada à simetria radial. A partir dos bilaterais, houve concentração de estruturas sensoriais e do sistema nervoso na região anterior do corpo, que é a primeira a entrar em contato com os estímulos do meio. Essa condição já é evidente nos **platelmintos** (planárias, por exemplo), primeiros bilaterais a surgir. Esses animais apresentam **gânglios cerebrais**, de onde partem dois cordões nervosos ventrais unidos por ramos transversais. A tendência evolutiva à cefalização do sistema nervoso atinge seu máximo nos mamíferos.



Esquema em cores-fantasia da disposição do sistema nervoso de hidra (cnidário) e planária (platelminto).

Duas grandes linhas evolutivas surgiram a partir de ancestrais com simetria bilateral: a dos **protos-**

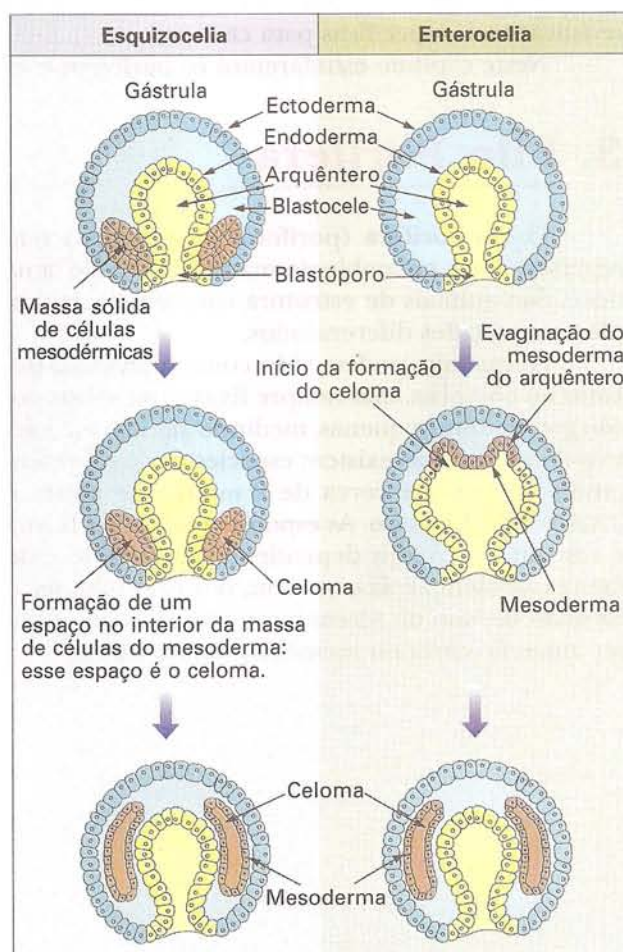
tômios e a dos **deuterostômios**, como já comentado no capítulo 10.

Os protostômios podem ser:

- **acelomados** (platelmintos);
- **pseudocelomados** (nematódeos);
- **celomados** (moluscos, anelídeos e artrópodes).

Os deuterostômios são todos celomados e representados pelos equinodermos e cordados. Entretanto, o modo como o celoma se forma no embrião dos deuterostômios difere do modo como surge nos protostômios.

Nos protostômios o celoma surge como um espaço no interior de massas de células mesodérmicas e é chamado **esquizoceloma** (*eschizo* = fendido). Já nos deuterostômios o celoma corresponde a uma cavidade no interior de bolsas, que surgem a partir de evaginações do mesoderma, o qual se diferencia no teto do intestino primitivo, sendo denominado **enteroceloma** (*enteron* = intestino).



Esquemas, com base em observações ao microscópio de luz, de cortes transversais em embriões, mostrando a formação do esquizoceloma e do enteroceloma (cores-fantasia).

A **metameria**, condição da organização interna do corpo, surgiu em duas linhas evolutivas independentes: a dos anelídeos/artrópodes e a dos cordados (animais que possuem notocorda).

Nesses organismos, cada metâmero (ou segmento) forma estruturas que se repetem ao longo do corpo do animal, como é o caso da musculatura. Uma das vantagens da metameria é a formação de blocos musculares que podem se contrair de forma independente, o que propicia maior variedade de movimentos.

Em alguns casos, a metameria pode ser notada externamente, como nos anelídeos (minhocas) e nos artrópodes (insetos). Nos cordados, ela é evidente apenas em algumas estruturas internas, como certos músculos que mantêm organização metamérica.



Esquema de minhoca com cores-fantasia em vista externa (cerca de 6 cm de comprimento).



Esquema de peixe ósseo (cerca de 30 cm de comprimento) mostrando a disposição metamérica da musculatura do corpo, visível após a remoção da pele (cores-fantasia).

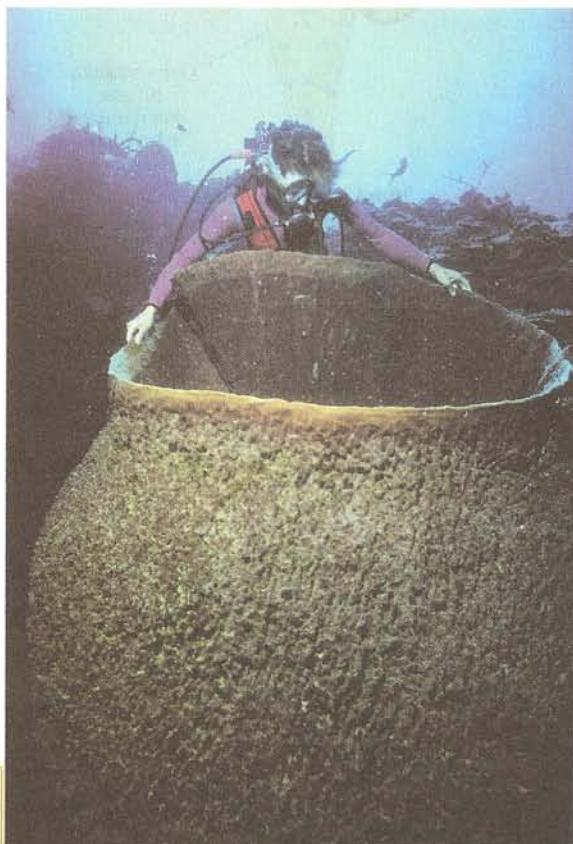
Vamos então analisar cada um dos filis animais mencionados no cladograma, acrescentando características mais específicas para cada um.

Neste capítulo estudaremos os **poríferos** e os **cnidários**.

3. Filo Porifera

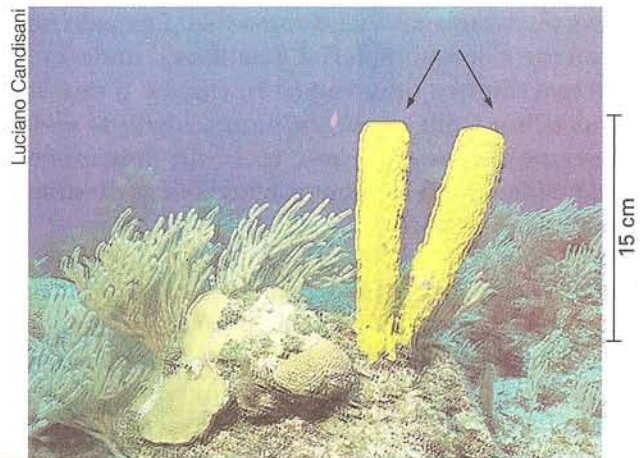
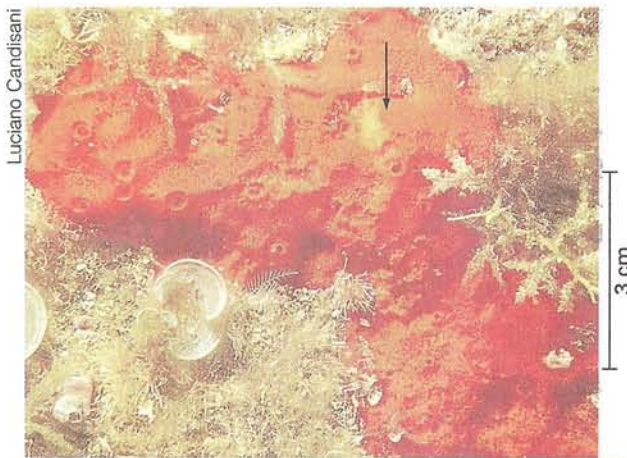
O filo **Porifera** (poríferos ou esponjas) tem representantes no ambiente marinho e no de água doce. São animais de estrutura corpórea mais simples, sem tecidos diferenciados.

As esponjas podem viver como indivíduos isolados ou coloniais, mas sempre fixas a um substrato. São geralmente pequenas, medindo alguns centímetros de altura, mas existem espécies cujos representantes medem até cerca de 2 metros de altura e 3 metros de diâmetro. As esponjas podem ter forma e cor muito variáveis dependendo da espécie e de fatores ambientais. Elas podem, por exemplo, ter o formato de vaso ou serem incrustantes. A cor pode ser amarela, cinza ou vermelha, dentre outras.



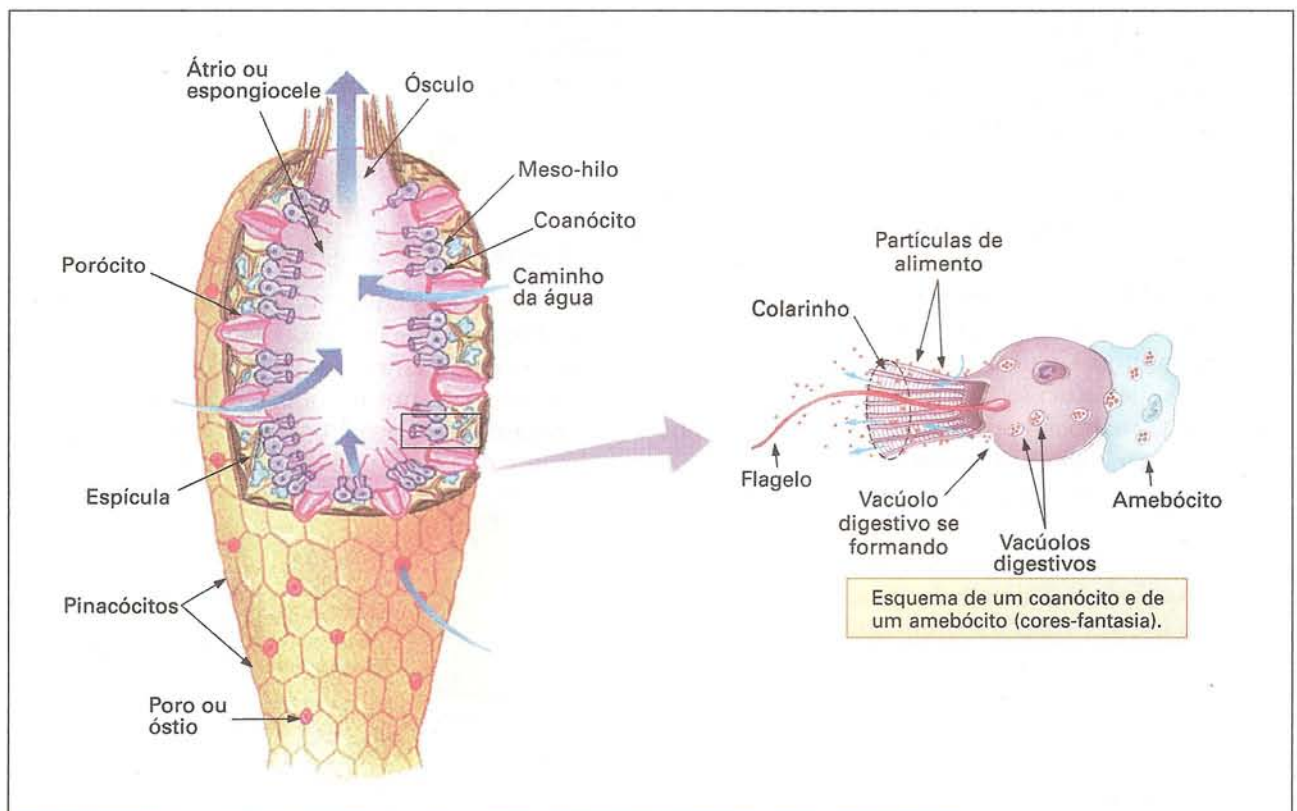
Jeffrey L. Rotman/Corbis

Fotografia de esponja que ocorre nos mares da região do Caribe. Veja a dimensão da esponja em relação ao corpo de uma pessoa.



Fotografias de exemplos de poríferos marinhos (setas). Esses animais podem ter formas e cores variadas.

Vamos analisar apenas o tipo morfológico mais simples de esponja, que está esquematizado a seguir. Analise o desenho e acompanhe a descrição pelo texto.



Esquema de um coanócito e de um amebócito (cores-fantasia).

Esquema do tipo morfológico mais simples de esponja (cerca de 1 cm de altura), mostrando um detalhe da estrutura interna. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

O corpo das esponjas é revestido externamente por células pavimentosas chamadas **pinacócitos** (*pinna* = em forma de prancha; *cito* = célula), que formam a **pinacoderme**. No caso desse tipo morfológico mais simples, a cavidade interna do corpo da esponja — o **átrio** ou **espongiocelo** (*cele* = cavidade) — é revestida por células flageladas, chamadas **coanócitos** (*coano* = funil), que formam a **coanoderme**. Entre

essas duas camadas está o **meso-hilo**, formado basicamente por um material gelatinoso, onde estão imersos diversos tipos celulares, como é o caso dos **amebócitos** (células que têm a capacidade de se deslocar pelo meso-hilo por meio de movimentos amebóides), e os elementos esqueléticos de sustentação das esponjas.

Numerosos poros estão presentes no corpo, de modo a estabelecer um canal de passagem de água do exterior para o interior do corpo da esponja, fato que deu o nome Porifera (*póros* = poro; *phoru* = portador de) ao filo. Além desses diminutos poros, existe uma abertura maior por onde a água sai da espongiocele. Essa abertura é o **ósculo**.

Nesse tipo mais simples de esponja os diminutos poros correspondem a canais de passagem que existem no interior de células especiais, chamadas **porócitos**.

As esponjas são, como regra geral, animais filtradores que se alimentam de diminutas partículas em suspensão presentes na água que fazem circular pelo seu corpo. Essa circulação ocorre de forma orientada: a água entra pelos poros, cai no átrio ou espongiocele e sai pelo **ósculo**. É o batimento do flagelo dos **coanócitos** que promove essa circulação.

Ao entrar na esponja, a água traz, além de partículas alimentares, o oxigênio indispensável para a respiração celular; ao sair da esponja, a água remove excretas e gás carbônico. Existem, portanto, uma corrente inalante, que entra no corpo da esponja pelos poros, e uma exalante, que sai do corpo da esponja pelo ósculo.

Cada coanócito possui ao redor do flagelo um colarinho formado por várias projeções longas e delgadas da célula, dispostas muito próximas entre si. Nesse colarinho ficam retidas partículas alimentares presentes na corrente inalante (corrente que entra no corpo do animal) de água. Ou essas partículas são incorporadas ao citoplasma do coanócito, onde pode haver a digestão intracelular do alimento, ou os coanócitos transferem o alimento para os amebócitos, que digerem e distribuem o alimento digerido para outras células do corpo da esponja.

Nas esponjas a digestão é intracelular e a espongiocele não deve ser considerada uma cavidade digestória, pois nela não há lançamento de enzimas para que ocorra a digestão extracelular.

Os elementos esqueléticos de sustentação presentes no meso-hilo podem ser **espículas** de carbonato de cálcio ou de sílica, dependendo da espécie. Quando de sílica, pode haver também **fibras protéicas de espongina**. Em algumas espécies exis-

tem apenas as fibras de espongina, que são macias. Essas são as esponjas usadas para banho.



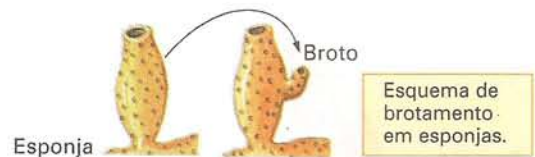
Fotografia de esponja de banho recém-coletada. Ocorre no mar Mediterrâneo, golfo do México e Caribe.

3.1. Reprodução nas esponjas

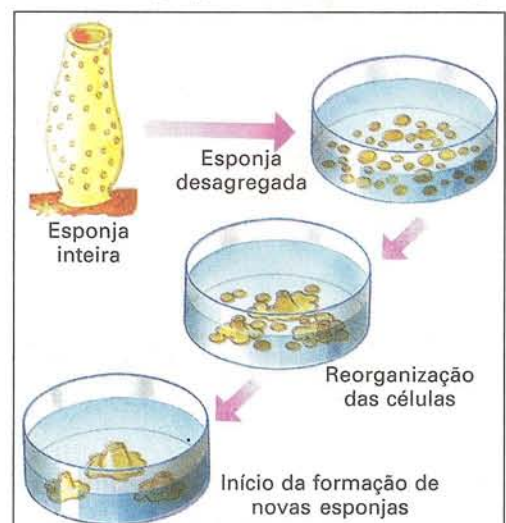
As esponjas podem apresentar reprodução assexuada e sexuada.

A **reprodução assexuada** pode ser por brotamento, fragmentação ou gemulação.

No **brotamento**, surge de uma esponja inicial um broto que pode se soltar originando um novo indivíduo. Em muitas espécies, os brotos não se separam, originando colônias.

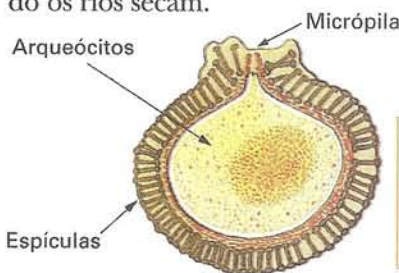


As esponjas possuem grande poder de regeneração. Pequenos pedaços delas podem regenerar por completo esponjas inteiras. Essa capacidade permite que apresentem um tipo de reprodução assexuada por **fragmentação**: pequenos pedaços separados eventualmente do corpo podem formar novas esponjas.



Esquema de regeneração em esponjas. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

A **gemulação** é mais comum em espécies de água doce, onde as condições ambientais podem se tornar temporariamente adversas, como ocorre quando os rios secam.



Esquema de gêmula em corte mediano, com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

As **gêmulas** são formas de resistência que se originam no interior do corpo da esponja. Cada gêmula é constituída por um envoltório rígido que protege células indiferenciadas (**arqueócitos**) capazes de formar um novo indivíduo. Quando as esponjas morrem, as gêmulas são liberadas, podendo

permanecer no meio por longos períodos de tempo, até que as condições ambientais voltem a se tornar adequadas. Nessas condições, os arqueócitos saem por uma abertura presente na gêmula, a **micrópila**, e reorganizam uma nova esponja.

Existem esponjas hermafroditas e esponjas de sexos separados.

Na **reprodução sexuada**, os espermatozóides são formados a partir dos coanócitos e saem pelo ósculo carregados pela corrente exalante de água. Eles penetram em outras esponjas com a corrente inalante e são captados pelos coanócitos, que os transferem até os óvulos.

A fecundação é, como regra geral, interna. Os óvulos são formados a partir de coanócitos ou de arqueócitos. Do ovo surge uma larva ciliada que abandona o corpo da esponja. Após breve período de vida planctônica, a larva fixa-se a um substrato, sofre metamorfose e dá origem a um novo indivíduo.

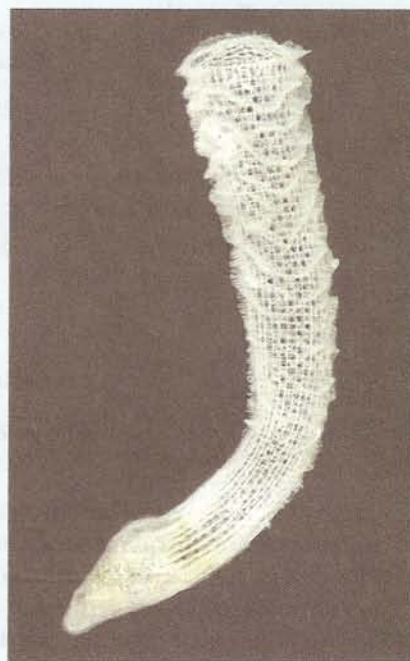
Esponjas-de-vidro

As esponjas são muito abundantes nos mares, desenvolvendo-se principalmente sobre substratos firmes, como rochas, pedaços de madeira, carapaças e conchas de outros animais.

A maior parte das esponjas ocorre em águas rasas dos oceanos, mas algumas vivem em águas profundas, como é o caso das chamadas esponjas-de-vidro. Estas possuem um esqueleto formado por espículas silicosas, que se fundem, gerando um retículo. Quando suas células morrem, a rede de espículas persiste como um vaso vítreo, característica à qual se deve seu nome. Essas esponjas são muito comuns no Japão e nas Filipinas, podendo ocorrer também no Canadá.

Espécies de uma dessas esponjas, chamadas popularmente de vasos-de-flores-de-vênus, apresentam uma relação interessante com certas espécies de pequenos camarões. Um macho e uma fêmea desses camarões penetram no corpo da esponja quando ainda são jovens e aí permanecem alimentando-se do material trazido junto com a corrente de água que a esponja faz circular dentro de seu corpo. Esses camarões não prejudicam a esponja. Com o tempo, eles crescem e não conseguem mais sair de dentro da esponja, ficando aí pelo resto de suas vidas.

Em função disso, em alguns países o esqueleto vítreo e muito bonito desses animais é apresentado a casais como voto de amor eterno.



Fotografia de esponja-de-vidro. Mede cerca de 25 cm de altura.

Felipe F. Curcio

4. Filo Cnidaria

O filo Cnidaria (cnidários), antigamente chamado Coelenterata (celenterados), está representado pelas hidras, medusas, anêmonas-do-mar, que são indivíduos isolados, e pelas caravelas e pelos corais, que são coloniais.

No filo Cnidaria existem basicamente dois tipos morfológicos de indivíduo: as **medusas**, que são geralmente natantes, e os **pólipos**, que são sésseis.

Os pólipos e as medusas, formas de vida aparentemente muito diferentes entre si, possuem características em comum e que definem o filo.

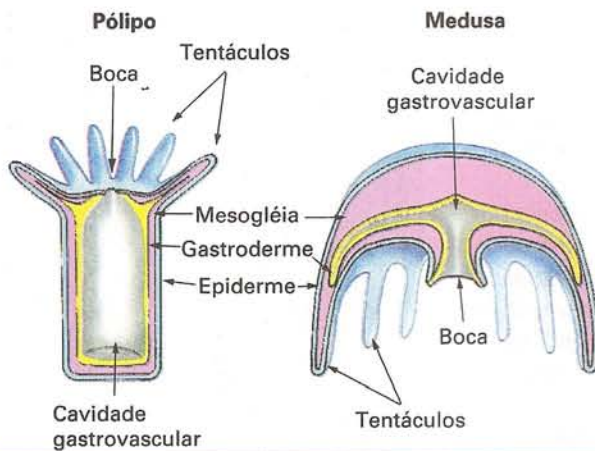
Tanto o pólipo como a medusa apresentam **boca** mas não possuem ânus. O alimento ingerido passa para a **cavidade gastrovascular**, onde é parcialmente digerido e distribuído. Depois é absorvido pelas células que revestem essa cavidade, onde se com-

pleta a digestão. Esta é, portanto, em parte extracelular e em parte intracelular. Os restos não-aproveitáveis são eliminados pela boca. Na região oral existem **tentáculos**, que participam da captura de alimento e também da defesa do animal.

As camadas de célula que ocorrem nos cnidários são:

- a **epiderme** (derivada do ectoderma do embrião), que reveste o corpo externamente;
- a **gastroderme** (derivada do endoderma), que reveste a cavidade gastrovascular.

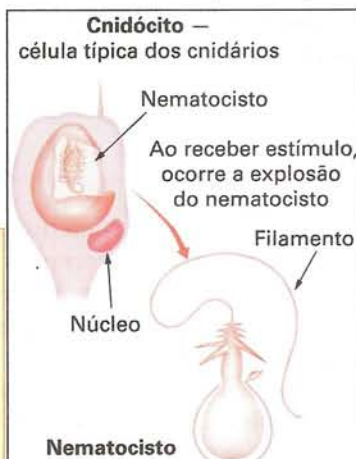
Entre a epiderme e a gastroderme existe uma camada gelatinosa denominada **mesoglêia**, mais abundante nas medusas do que nos pólipos. Por isso as medusas têm aspecto gelatinoso, fato que lhes valeu a denominação popular “águas-vivas”. O teor de água em seus corpos é elevado: cerca de 98% do peso total do animal.



Esquemas de pólipo e medusa em corte mediano. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Nos cnidários, existe um tipo especial de célula denominada **cnidócito**, que aparece em maior quantidade nos tentáculos. Ao ser tocado, o cnidócito “dispara” o **nematocisto**, estrutura geralmente penetrante que contém um longo filamento, através do qual o líquido urticante contido em seu interior é eliminado. Esse líquido pode paralisar a presa. Em seres humanos, pode causar sérias queimaduras.

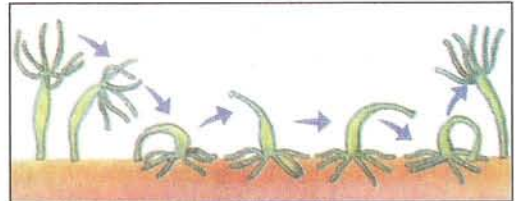
Esquemas de cnidócito e nematocisto como observados ao microscópio de luz. Estruturas internas do cnidócito vistas por transparência e um detalhe em corte do nematocisto (cores-fantasia).



Os cnidários apresentam sistema nervoso, embora bastante primitivo, com os neurônios dispostos de modo difuso pelo corpo.

Pólipos e medusas apresentam movimentos de contração e de extensão do corpo, além de poderem apresentar deslocamentos.

Enquanto alguns pólipos são fixos, outros podem se deslocar, como exemplificado pela hidra, um cnidário muito comum em água doce.



Esquema de locomoção do tipo “cambalhota” em hidra.

Nas medusas, a locomoção é mais ativa, sendo realizada por um mecanismo denominado **jatopropulsão**: os bordos do corpo se contraem, e a água acumulada na face oral é expulsa em jato, provocando o deslocamento do animal no sentido oposto.



Fábio Lang da Silveira

Relaxada.



Fábio Lang da Silveira

Contraída.

Fotografias de medusa comum no litoral brasileiro, movimentando-se por jatopropulsão. Mede cerca de 40 cm de diâmetro.

A capacidade de alterar a forma do corpo, determinando movimentos e deslocamentos, deve-se à presença de células especiais com funções de

contração e distensão, mas que não são células musculares verdadeiras, pois não derivam do mesoderma, que só ocorre em animais triblásticos.

A respiração e a excreção ocorrem por difusão através de toda a superfície do corpo. Não existem estruturas especiais relacionadas com esses processos.

A reprodução dos cnidários pode ser assexuada ou sexuada e será tratada no estudo das diferentes classes: Hydrozoa, Scyphozoa e Anthozoa.

4.1. Classe Hydrozoa

Os hidrozoários são os únicos cnidários que possuem representantes marinhos e de água doce. Os demais cnidários ocorrem apenas no ambiente marinho.

Estão representados pelas hidras, por pequenas medusas e muitas formas coloniais, como a caravela.



Alvaro E. Migotto

Fotografia de caravela: colônia flutuante que chega a medir 10 cm em seu maior diâmetro. O indivíduo flutuador é um saco cheio de gás, que mantém a colônia flutuando no mar. O deslocamento ocorre pela ação das ondas e do vento. Ligados a esse indivíduo, existem vários outros, diferentes, adaptados a outras funções, como alimentação, defesa e reprodução.



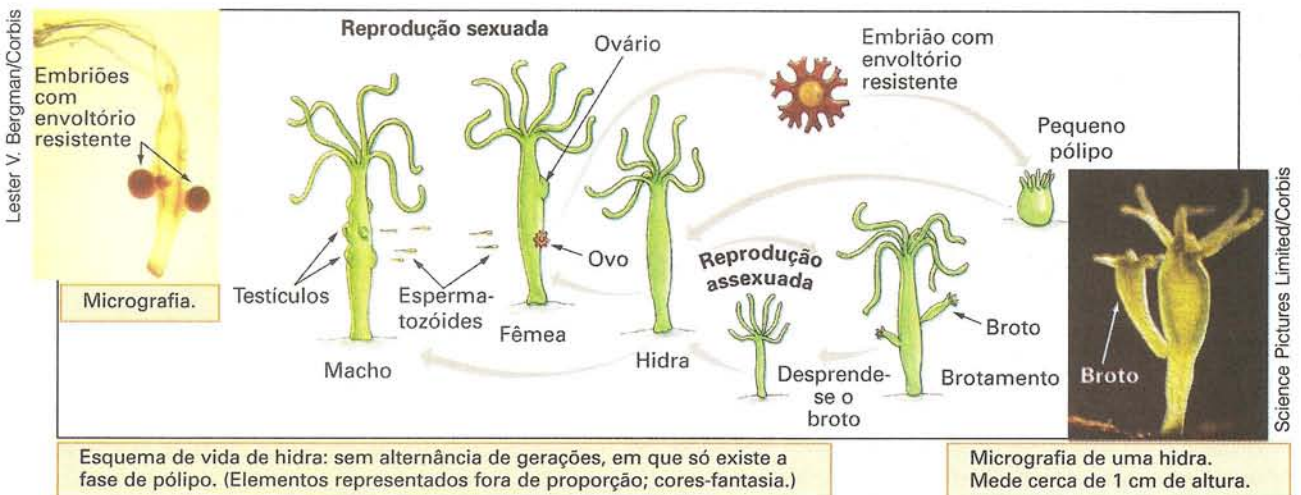
Alvaro E. Migotto

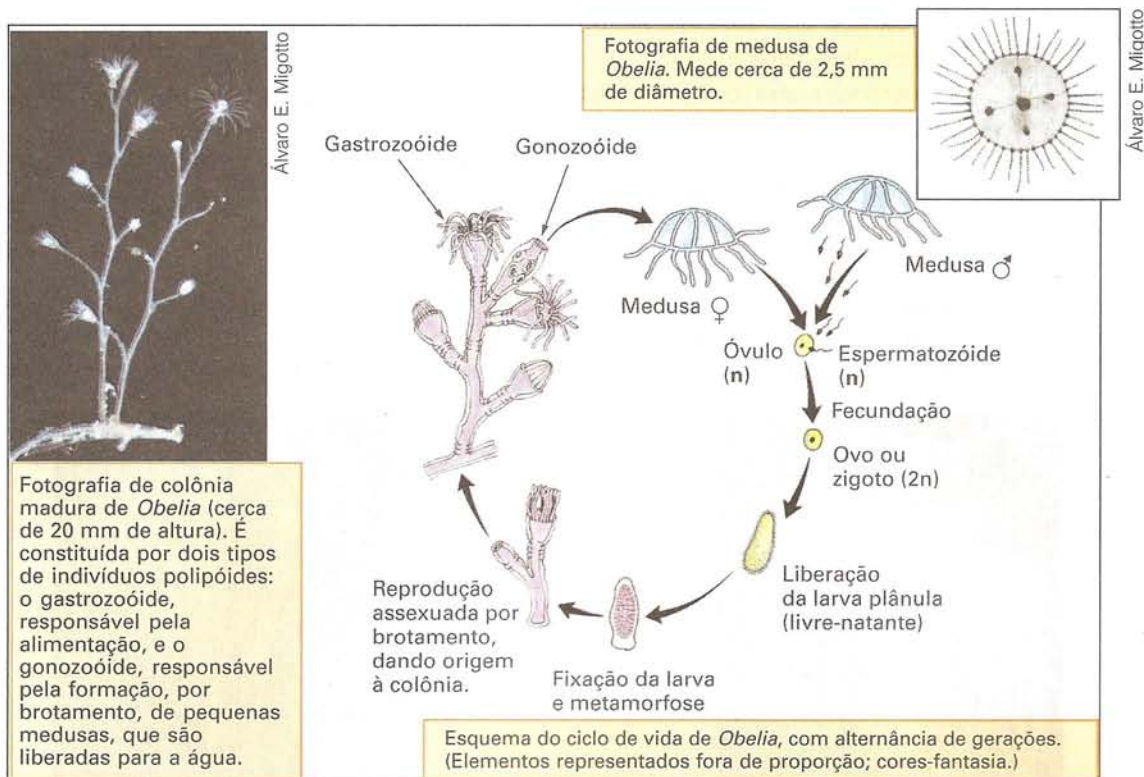
Fotografia de *Olindias sambaquiensis*, uma das espécies de medusas de hidrozoários comuns na região Sudeste do Brasil. Pode causar queimaduras em seres humanos. Mede cerca de 2 cm de diâmetro.

Quanto aos ciclos de vida, podemos considerar três tipos:

- os que só desenvolvem pólipos (exemplo: *Hydra*);
- os que só desenvolvem medusas (exemplo: *Liriope*);
- os que desenvolvem pólipos e medusas, apresentando alternância de geração ou metagênese (exemplo: *Obelia*).

Os tipos de padrões reprodutivos estão explicados resumidamente nas figuras a seguir, que mostram um ciclo de vida em que há só a fase polipóide e outro ciclo de vida com alternância de gerações.



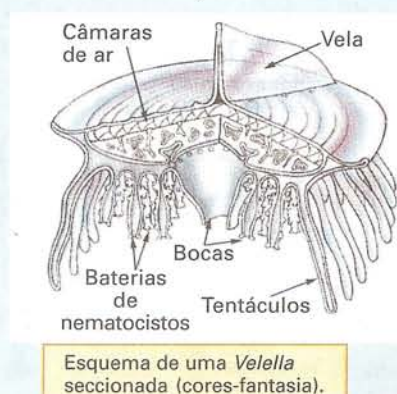


A alternância de gerações que ocorre nos ciclos de vida dos cnidários difere da verificada nas plantas e nas algas multicelulares, pois nos cnidários ambas as gerações são diplóides.

Um pouco mais a respeito dos hidrozoários

Dentre os hidrozoários, muitos formam colônias, geralmente compostas por indivíduos diferentes quanto à forma e à função: colônias polimórficas (*poli* = muitos; *morfo* = forma). A maioria das espécies coloniais é sésil, vivendo fixa a um substrato. Muitas colônias são arborescentes, sustentadas por um esqueleto quitinoso, como em *Obelia*, ou de carbonato de cálcio, como no gênero *Millepora*, também chamado de coral-de-fogo.

Além das sésseis, existem colônias polimórficas que vivem flutuando na água do mar. É o caso da *Physalia*, popularmente chamada de caravela-portuguesa, e da *Velella*.



A *Velella* chega a medir 8 cm de diâmetro. O indivíduo flutuador é um pólipos modificado que secreta gás, armazenado nas câmaras de ar, e forma uma "vela". O vento, ao entrar em contato com a "vela", desloca a colônia na superfície da água. Os outros indivíduos da colônia também são pólipos modificados, adaptados a outras funções: alimentação, reprodução e defesa.

4.2. Classe Scyphozoa

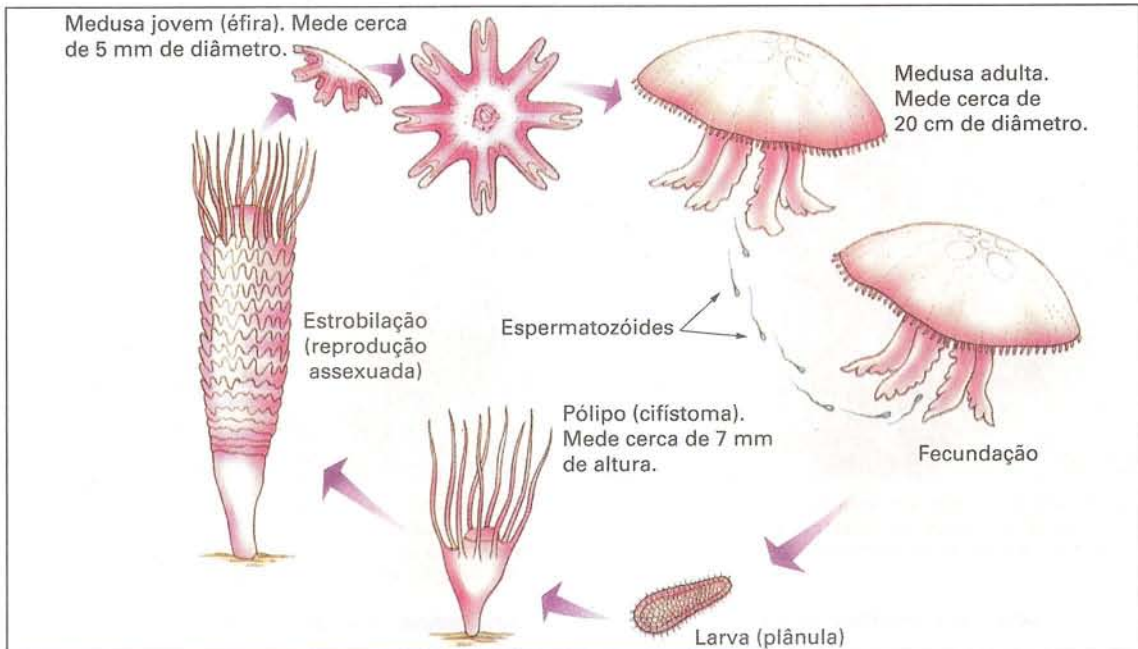
Na classe Scyphozoa (cifozoários), a medusa é a forma predominante do ciclo de vida; o pólipó dos cifozoários é muito reduzido e, em alguns poucos casos, ausente.

As medusas de cifozoários, ao contrário das medusas de hidrozoários, são geralmente grandes.

A reprodução assexuada nesse grupo de

cnidários ocorre por **estrobilação**. Por esse processo são formadas pequenas medusas imaturas, chamadas **éfiras**, que se diferenciarão em medusas adultas, responsáveis pela reprodução sexuada. Geralmente as medusas são de sexos separados, e a fecundação pode ser externa ou interna.

A alternância de gerações é o padrão comum de reprodução, como exemplificado a seguir, com base no ciclo de vida da espécie *Aurelia aurita*.



Esquema do ciclo de vida de *Aurelia aurita*, com alternância de gerações. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Cubomedusas

Existe um grupo especial de medusas que tem sido classificado por alguns entre os cifozoários, mas que recentemente foi considerado uma classe à parte dentre os cnidários: são as cubomedusas, que possuem o corpo quadrado, daí o nome. Dentre elas estão representantes que causam graves acidentes com seres humanos, provocando-lhes sérias queimaduras na pele. É o caso da cubomedusa *Chironex fleckeri*, que ocorre no litoral australiano e que pode até mesmo causar a morte de uma pessoa.

No litoral brasileiro, duas espécies de cubomedusas podem causar acidentes, mas em geral não tão graves quanto o causado pela espécie australiana. Essas espécies brasileiras são a *Tamoya haplonema* e a *Chiropsalmus quadumanos*, ambas medindo até cerca de 6 cm de diâmetro.



Alvaro E. Migotto

Fotografia de *Tamoya haplonema*. Mede cerca de 6 cm de diâmetro.



Alvaro E. Migotto

Fotografia de *Chiropsalmus quadumanos*. Mede cerca de 6 cm de diâmetro.

4.3. Classe Anthozoa

A classe Anthozoa (antozoários) apresenta apenas indivíduos na forma polipóide. Existem espécies solitárias, como as anêmonas-do-mar, e espécies coloniais, como o coral-cérebro. Este último secreta um exoesqueleto de carbonato de cálcio.

A reprodução dos antozoários pode ser sexuada ou assexuada, não havendo alternância de gerações. Após a fecundação, geralmente forma-se uma larva plânula que origina um pólip.

A reprodução assexuada pode ocorrer por vários mecanismos, dentre os quais o mais comum é a divisão longitudinal do corpo.

Álvaro E. Migotto



Fotografia de pólip: anêmona-do-mar, comum nos costões rochosos do litoral brasileiro. Mede cerca de 4 cm de diâmetro.

Luciano Candiani



Fotografia de coral-cérebro, comum no litoral brasileiro: colônia sésil formada por indivíduos iguais, todos executando as mesmas funções de alimentação, defesa e reprodução. Mede cerca de 20 cm de diâmetro.

Os corais

No grupo dos antozoários estão os chamados corais-pétreos, ou corais verdadeiros, que são os principais organismos formadores dos recifes coralíneos. Os corais-pétreos possuem um exoesqueleto de carbonato de cálcio secretado pela epiderme do corpo do pólip, produzindo uma taça esquelética dentro da qual o pólip se aloja.

Existem corais-pétreos que são indivíduos solitários, como é o caso do gênero *Fungia* do Indo-Pacífico, mas a maioria deles é do tipo colonial, como o coral-cérebro, comum no Brasil.

O tamanho da colônia de coral aumenta devido à reprodução assexuada dos pólipos e também à adição de carbonato de cálcio pelos próprios pólipos já existentes: periodicamente os pólipos elevam suas bases e secretam um novo assoalho sobre sua taça antiga, formando diminutas câmaras no esqueleto.

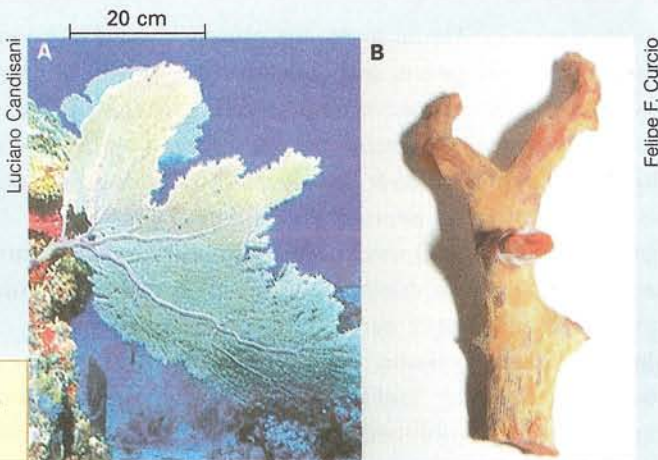


Georgette Dourna/SPL

Fotografia de *Fungia*, coral-pétreo do Indo-Pacífico. Atinge cerca de 18 cm de diâmetro. Não forma colônia.

Ao lado dos corais-pétreos estão os chamados corais córneos, antozoários representados pelas gorgônias e pelos preciosos corais vermelhos usados em joalheria (*Corallium rubrum*). Nestes, o esqueleto é interno, formado por espículas calcárias que dão ao coral a cor avermelhada.

Fotografias de: **A** — gorgonácea comum no litoral brasileiro e **B** — fragmento de cerca de 4 cm de altura de colônia de *Corallium rubrum*, mostrando o endoesqueleto avermelhado. Ocorre no mar Mediterrâneo.



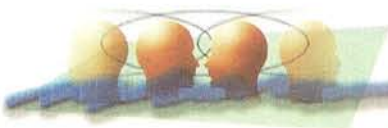
QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Caracterize um animal.
2. Explique o significado dos seguintes termos:

a) diblástico;	f) protostômio;
b) triblástico;	g) deuterostômio;
c) acelomado;	h) radiata;
d) pseudocelomado;	i) bilatéria.
e) celomado;	
3. Dê agora exemplos de animais:

a) diblásticos;
b) triblásticos acelomados;
c) triblásticos pseudocelomados;
d) triblásticos celomados;
e) protostômios;
f) deuterostômios.
4. Explique o que é e o significado evolutivo da metameria, dando exemplos de animais metaméricos.
5. Conceitue cavidade digestória e diga se ela está presente em todos os animais. Justifique sua resposta.
6. Compare o modo como a generalidade das esponjas e dos cnidários obtêm e digerem o alimento.
7. Explique como ocorre a reprodução assexuada e a reprodução sexuada das esponjas.
8. Explique como é e como atua a célula típica dos cnidários que deu o nome ao filo.
9. Faça uma tabela comparativa entre as classes de cnidários, de acordo com o que é sugerido a seguir:

Classe de cnidário	Presença de pólipó e medusa	Alternância de gerações (presença) e forma predominante no ciclo de vida (pólipó ou medusa)



TEXTO PARA DISCUSSÃO

As esponjas e sua importância médica, ecológica e econômica

De modo geral as esponjas parecem ser animais bastante estáveis e de vida longa. Embora algumas espécies tenham um ciclo de vida anual, estimativas baseadas em taxas de crescimento conferem idades acima de 1 500 anos a indivíduos de algumas es-

pécies. Se confirmadas essas estimativas, as esponjas seriam os animais com tempo de vida mais longo do planeta.

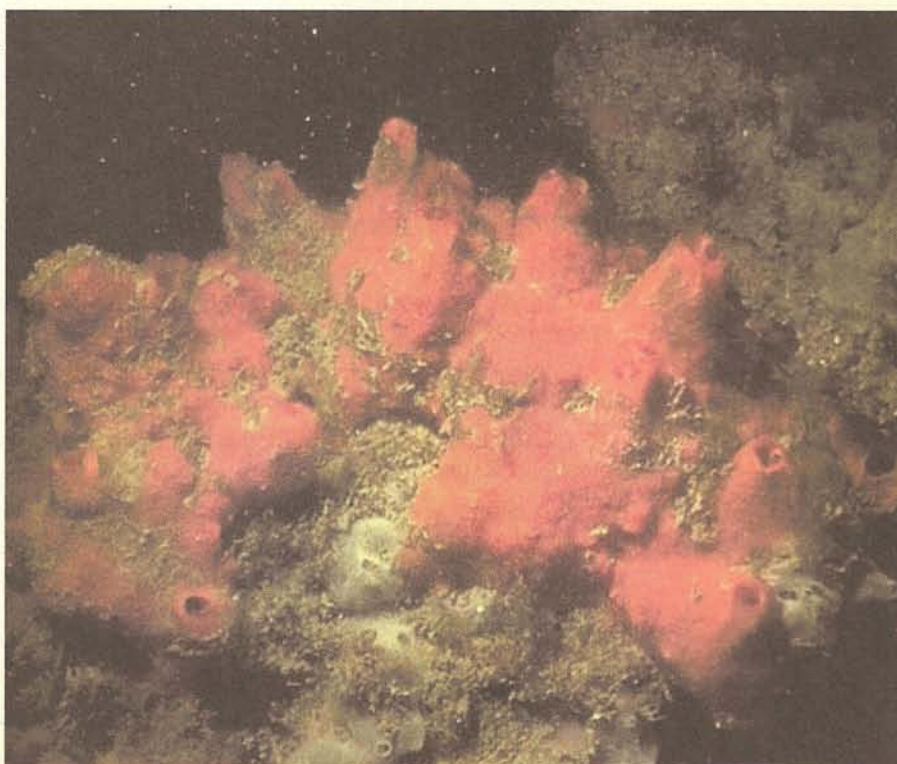
Vários animais se alimentam de esponjas, embora o dano causado por esses predadores seja geral-

mente pequeno. Alguns moluscos, ouriços e estrelas-do-mar, além de peixes tropicais (donzelas, peixes-borboleta) e tartarugas, comem esponjas. Muitas espécies de esponja são totalmente expostas aos predadores e, na impossibilidade de bater em retirada, apresentam mecanismos alternativos de defesa contra a predação excessiva. O mecanismo primário de defesa das esponjas é de natureza química. As esponjas produzem uma ampla gama de compostos tóxicos, alguns bastante potentes. Espécies de alguns gêneros, como *Tedania* e *Neofibularia*, podem até mesmo causar dermatites dolorosas em seres humanos.

na Flórida, em Cuba, nas Bahamas e na Tunísia. No Caribe esse apogeu foi seguido por duas epidemias, causadas por um agente não determinado, em 1938 e 1947. Após isso as populações locais nunca mais voltaram à abundância anterior.

Não se conhecem no Brasil localidades com abundância de esponjas de banho, mas é possível que uma espongicultura fosse viável.

Por serem organismos sésseis e filtradores, a repartição espacial das esponjas é fortemente influenciada pela qualidade da água, especialmente pelo seu conteúdo em partículas orgânicas e minerais, poluentes



Eduardo Hajdu

e materiais orgânicos dissolvidos. Elas são, portanto, boas indicadoras da qualidade da água, e seu uso no monitoramento ambiental tem sido recomendado por alguns pesquisadores.

As esponjas produzem grande diversidade de metabólitos secundários, muitos dos quais têm estruturas originais de grande interesse para a farmacologia e a pesquisa biomédica. Esses compostos representam um importante recurso natural, pois podem levar à produção de medicamentos mais eficazes contra o câncer e outras doenças graves, como as causadas por vírus, bactérias ou fungos. As esponjas são um dos grupos de organismos com maior percentagem de espécies produtoras de compostos antibióticos, antitumorais e antivirais.

Suas peculiaridades fazem das esponjas de modo geral um recurso renovável com amplo espectro de aplicações. A utilização efetiva desses animais no Brasil é, porém, ainda bastante reduzida.

Muitas espécies produzem compostos com atividade antimicrobiana (antibacteriana, antifúngica, antiviral).

Algumas espécies de esponja, principalmente as do gênero *Spongia* e as do *Hippospongia*, são ainda hoje usadas como esponjas de banho, apesar da concorrência das esponjas artificiais. Esse uso data da Antiguidade; várias menções a esse fato foram feitas pelo filósofo grego Homero. O apogeu da pesca e do cultivo comercial de esponjas deu-se na década de 1930,

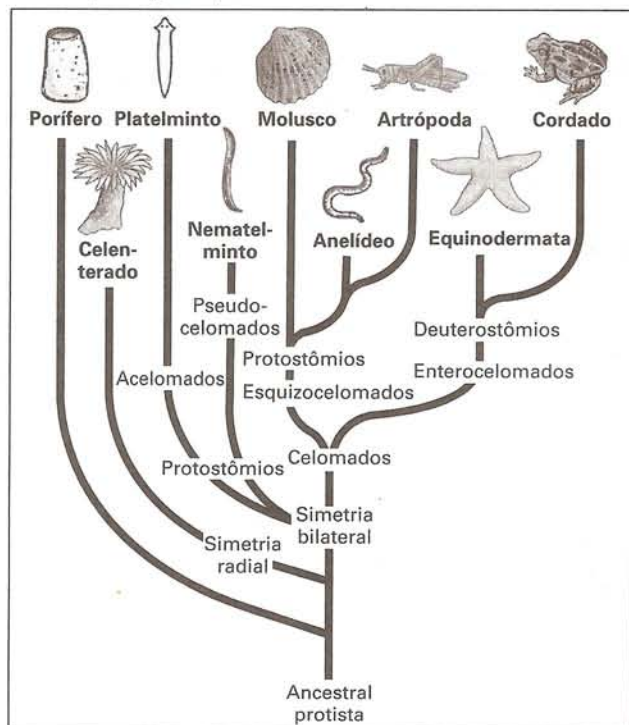
Fotografia de *Tedania*. Mede cerca de 8 a 12 cm.

Adaptado do site: <http://acd.ufrj.br/labpor/>.

- Considerando que poucas pessoas conhecem as esponjas, sejam elas marinhas ou de água doce, como você poderia explicar a um leigo o que são as esponjas e qual a importância delas?

TESTES

1. (UEM-PR) De acordo com a figura abaixo e com os conceitos sobre relações evolutivas entre os principais grupos animais, indique o que for correto.



- 01) Nos moluscos e nos equinodermatas, o blastóporo origina a boca.
- 02) A maioria dos animais triblásticos é celomada. O celoma é definido como uma cavidade corporal totalmente revestida por mesoderma.
- 04) Celenterados e equinodermatas apresentam simetria radial, no estágio adulto, embora os equinodermatas sejam bilateralmente simétricos, na fase jovem.

- 08) Os platelmintos apresentam os espaços do corpo preenchidos por tecidos originados do endoderma.
- 16) Os nematelmintos apresentam cavidade corporal parcialmente revestida por tecido de origem mesodérmica.
- 32) As relações evolutivas entre os anelídeos e os artrópodos são mais estreitas do que as existentes entre os artrópodos e os equinodermatas.
- 64) O celoma de anelídeos e cordados forma-se da mesma maneira, a partir da evaginação do arquêntero (intestino primitivo).

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

2. (UFPI) Indique as características que tornam os organismos do filo Porífera bem diferentes daqueles de outros filos animais:

- a) Não podem se reproduzir.
- b) As formas adultas são sésseis.
- c) Não respondem a estímulos externos.
- d) Alimentam-se através de mecanismos de filtração.
- e) Suas células não são organizadas em tecidos.

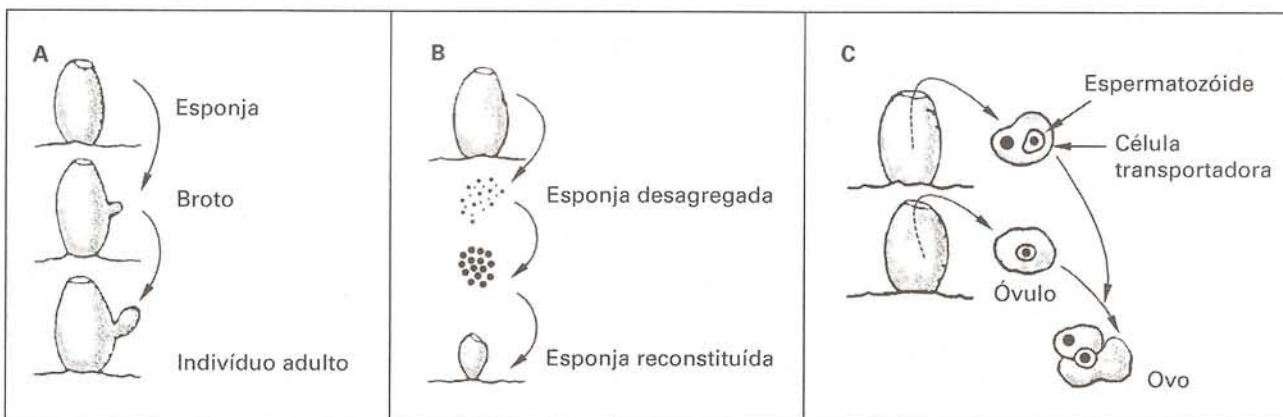
3. (UFPI) Indique a alternativa que mostra o filo cujos representantes são os animais menos complexos:

- a) Artrópodes.
- b) Cnidários.
- c) Anelídeos.
- d) Poríferos.
- e) Nematódeos.

4. (UCDB-MT) Embora as esponjas sejam animais de características primitivas, são animais bem-sucedidos e abundantes:

- a) apenas em água doce.
- b) em meio aquático.
- c) apenas em água salgada.
- d) em água doce e na terra.
- e) em água salgada e na terra.

5. (UFSC) O filo porífera é representado pelas esponjas. Na figura, as letras A, B e C referem-se aos aspectos reprodutivos desses animais:



Indique o que for correto:

- 01) **A** representa um tipo de reprodução assexuada.
- 02) **B** representa um tipo de reprodução sexuada.
- 04) **C** representa, pela presença de células sexuais, a reprodução sexuada.
- 08) **A** é denominado brotamento.
- 16) Para a formação do ovo, em **C**, deve ocorrer a fecundação.
- 32) Em **A** e **B**, os organismos produzidos por estes mecanismos possuem diferenças genéticas em relação ao indivíduo que lhes deu origem.
- 64) O fenômeno apresentado em **C** possibilita o aumento da variabilidade entre as esponjas.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (PUC-RS) Um exame dos diferentes tipos celulares que formam o corpo de uma esponja nos revela que o revestimento externo destes animais está formado por células genericamente denominadas:

- a) coanócitos.
- b) amebócitos.
- c) pinacócitos.
- d) arqueócitos.
- e) fibrócitos.

7. (UEPB) Analise as proposições abaixo:

- I — Primeiros animais da escala evolutiva a apresentarem uma cavidade digestiva.
- II — Formação de dois tipos morfológicos de indivíduos.
- III — Esqueleto formado por espículas ou espongina.
- IV — Presença de célula urticante para defesa e captura da presa.
- V — Presença de células flageladas que realizam movimento de água no corpo do animal.

É(são) característica(s) do filo **Cnidaria**:

- a) apenas I, II e IV.
- b) apenas II, III e V.
- c) apenas III e V.
- d) apenas IV.
- e) I, II, III, IV e V.

8. (UFMS) O filo Cnidaria inclui as conhecidas hidras, águas-vivas, anêmonas-do-mar e os corais. São animais portadores de tentáculos que circundam a boca e que possuem uma cavidade gastrovascular. Com relação a esses animais, é correto afirmar que:

- 01) geralmente as formas medusóides apresentam a mesogléia espessa, por isso são comumente conhecidas como águas-vivas.

- 02) a maioria dos cnidários é marinha, podendo ser sésseis ou livres natantes.

- 04) a parede corporal dos cnidários é formada por três camadas básicas: a epiderme, a gastroderme e, entre as duas, a mesogléia; portanto, os cnidários são triploblásticos.

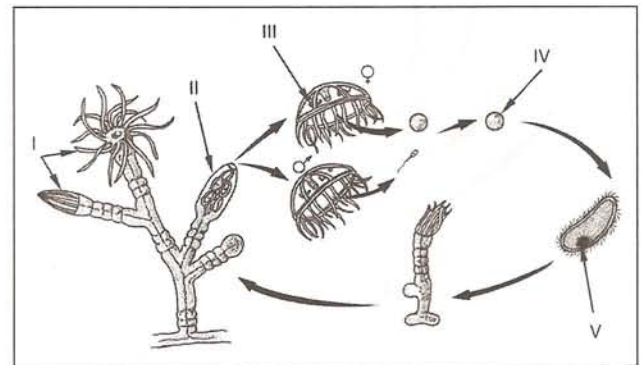
- 08) a epiderme dos cnidários é composta exclusivamente de nematocistos.

- 16) geralmente os cnidários são carnívoros e as presas são paralisadas pela descarga dos nematocistos dos tentáculos.

- 32) os cnidários podem ser solitários ou coloniais.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

9. (UFAL) A figura abaixo mostra o ciclo de vida de um cnidário:



Resultam de processo assexuado **apenas**:

- a) I, II e III.
- b) I, II e IV.
- c) I, III e V.
- d) II, III e IV.
- e) III, IV e V.

10. (PUC-SP) Uma colônia de pólipos forma, por brotamento, pequenas medusas. Estas liberam gametas no ambiente, onde ocorre a fecundação. Do zigoto surge uma larva ciliada, que dá origem a uma nova colônia de pólipos.

A descrição acima refere-se a um:

- a) cnidário, que apresenta alternância de gerações.
- b) cnidário, que apresenta exclusivamente reprodução sexuada.
- c) espongiário, que apresenta exclusivamente reprodução sexuada.
- d) espongiário, que apresenta alternância de gerações.
- e) platielminte, que apresenta reprodução sexuada e assexuada, sem alternância de gerações.

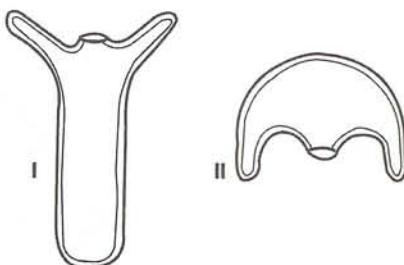


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Os animais podem ou não apresentar simetria. Considere os seguintes animais: planária, esponja, medusa (água-viva), minhoca, coral e besouro.

- Quais deles apresentam simetria radial? E quais apresentam simetria bilateral?
- Caracterize esses dois tipos de simetria.
- Por que a simetria radial da estrela-do-mar é considerada secundária?

2. (Unicamp-SP) Os celenterados ou cnidários são animais aquáticos que apresentam formas diferentes de acordo com o modo de vida. Estas formas estão esquematizadas em corte longitudinal mediano.



- Como são denominadas as formas I e II?
- Dê exemplo de um animal que apresente a forma de corpo I e de um que apresente a forma II.

Platyhelminthes e Nematoda

1. Filo Platyhelminthes

O nome desse filo deriva de uma das características dos animais desse grupo: são vermes com o corpo achatado dorsoventralmente (*platy* = chato; *helminto* = verme).

O termo **verme**, em Zoologia, é empregado para animais de corpo alongado e de pequena espessura, mas não tem nenhum valor taxonômico.

Dentre os platelmintos existem espécies de vida livre que ocorrem nos mares, na água doce e em ambientes terrestres úmidos; são chamados vulgarmente de **planárias**.



Fotografia de planária terrestre, que vive restrita a locais úmidos. Mede cerca de 4 cm de comprimento.

Michael & Patricia Fogden/Corbis

Fábio Colombini



Fotografia de planária de água doce comum no Brasil, que usaremos como modelo para estudar os platelmintos. Mede cerca de 1 cm de comprimento.

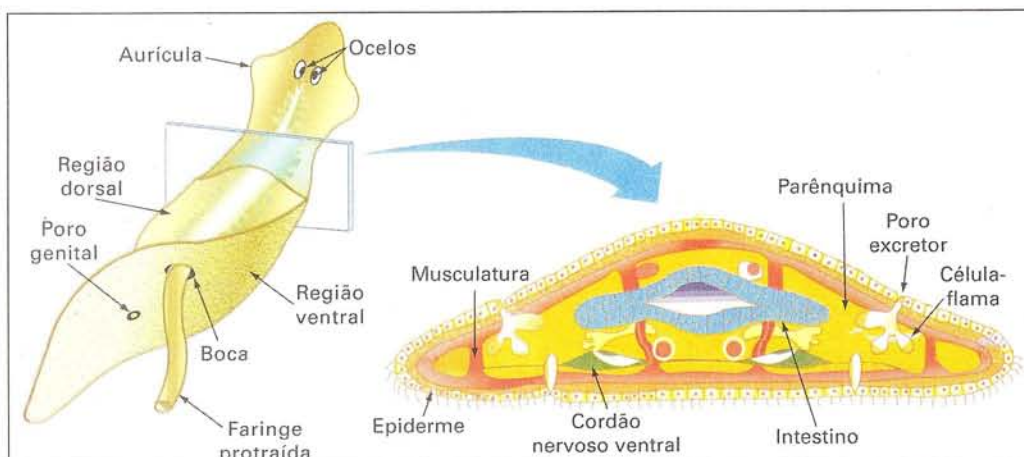


Fotografia de planária marinha. Ocorre no litoral brasileiro e mede cerca de 4,5 cm de comprimento.

Álvaro E. Migotto

Existem também platelmintos que são parasitas de outros animais, inclusive do ser humano. É o caso do *Schistosoma mansoni*, que causa a **esquistossomose** (barriga-d'água), e da *Taenia solium*, que causa a **teníase** e a **cisticercose**, que estudaremos mais adiante.

Os platelmintos são animais triblásticos (ou triploblásticos), assim como os demais animais que estudaremos nos filós a seguir. Nesses casos, há formação de um terceiro folheto germinativo durante o desenvolvimento embrionário: o mesoderma, localizado entre o ectoderma e o endoderma.



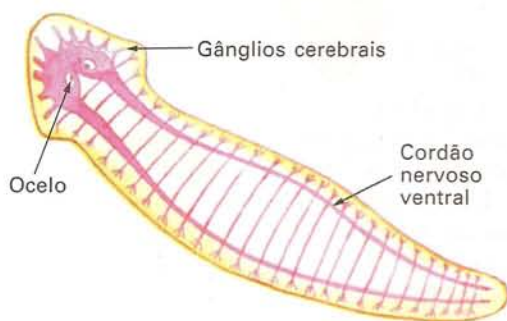
Esquema de planária e de corte transversal ao corpo do animal, feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Revestindo externamente o corpo, existe a **epiderme**, um epitélio derivado do ectoderma embrionário; internamente o intestino é revestido por epitélio de origem do endoderma do embrião. O espaço entre a epiderme e o epitélio intestinal é preenchido por um tecido frouxo, de origem mesodérmica, o **parênquima**. Imersas neste há outras estruturas de origem mesodérmica, como é o caso dos feixes musculares e das gônadas.

Os feixes musculares estão dispostos de várias maneiras, o que propicia grande variedade de movimentos e contribui para a locomoção do animal. No caso das planárias, a epiderme é ciliada, sendo que muitas vezes esses cílios estão restritos apenas à superfície ventral do corpo. Esses cílios também contribuem para a locomoção do animal.

Na região anterior do corpo das planárias de água doce existem dois **ocelos**, estruturas sensoriais capazes de perceber a luz (**fotorreceptoras**), mas que não formam imagens. Nas **aurículas**, que são projeções laterais da região cefálica, existem células capazes de perceber substâncias químicas dissolvidas na água (**células quimiorreceptoras**), que contribuem para a localização do alimento no meio.

As informações obtidas por essas estruturas sensoriais são conduzidas ao **sistema nervoso**, composto por dois gânglios cerebrais ligados a dois cordões nervosos que percorrem ventralmente o corpo em direção à região posterior do animal. Dos gânglios e dos cordões, partem ramificações das células nervosas para diversas partes do corpo.

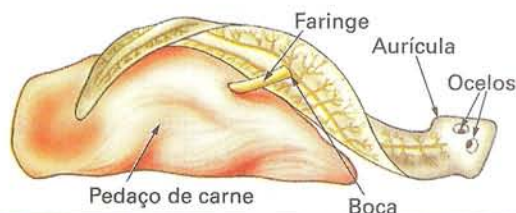


Esquema da disposição do sistema nervoso de planária (cores-fantasia).

Os platelmintos possuem **sistema digestório** com apenas uma abertura para o exterior: a boca. Não possuem ânus.

Nas planárias, a boca é de posição ventral e mediana ao corpo. No momento em que vão ingerir o alimento, protraem pela boca uma longa faringe muscular. Lançam sobre o alimento enzimas digestivas, havendo digestão parcial desse alimento para depois ocorrer a ingestão. O alimento é conduzido para o intestino, onde ocorre a digestão extra e intracelular. O intestino é muito ramificado e contribui

para a distribuição do alimento digerido. Restos não-digeridos são eliminados pela boca.



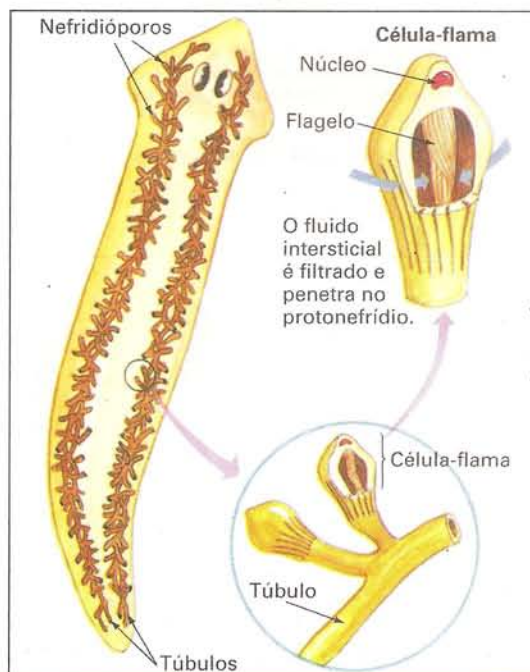
Esquema de planária se alimentando (cores-fantasia).

Os platelmintos não possuem **sistema circulatório**, e o alimento digerido por eles é distribuído por difusão para todas as células do corpo.

Também não possuem **sistema respiratório**; neles, as trocas gasosas são feitas através da epiderme.

Eles possuem, no entanto, **sistema excretor**: o **protonefrídio**. Este é formado por uma rede de túbulos que apresentam na extremidade das ramificações uma célula terminal especializada, a qual varia nos diferentes grupos de platelmintos: em alguns é o **solenócito**, que possui um único flagelo; e em outros, como é o caso da planária, é a **célula-flama**, que contém vários flagelos, cujo batimento lembra a chama de uma vela.

O batimento flagelar faz com que os fluidos extracelulares do parênquima sejam ultrafiltrados e passem para os túbulos. Estes abrem-se para o exterior por meio de **nefridióporos** (poros excretores) situados lateralmente na superfície dorsal do corpo. Por esse sistema os platelmintos eliminam excesso de água e certas excretas. As excretas nitrogenadas, no entanto, são eliminadas principalmente pela superfície do corpo.



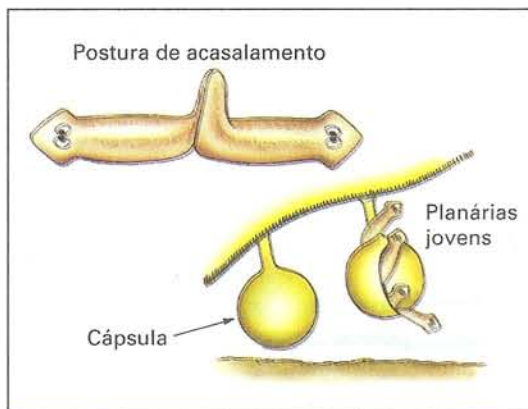
Esquema da disposição do sistema excretor de planária (protonefrídios), feito com base em observações aos microscópios de luz e eletrônico (cores-fantasia).

A reprodução nos platelmintos será analisada à medida que falarmos de cada uma das três classes: **Turbelaria, Trematoda e Cestoda**.

1.1. Classe Turbelaria

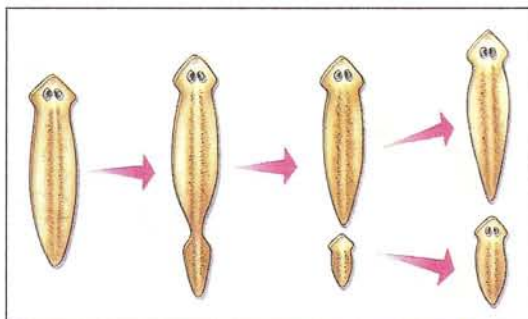
Os turbelários são platelmintos de vida livre. Estão representados pelas planárias.

São animais hermafroditas, porém neles a autofecundação é rara. Na cópula, dois indivíduos unem seus poros genitais e cada um deles introduz o pênis na abertura genital do outro. Há troca de espermatozoides e eles se separam. Vários óvulos são fecundados; cada óvulo é fecundado por um espermatozoide, formando-se vários zigotos. Há a produção de cápsulas protetoras ao redor dos zigotos, que são eliminadas através dos poros genitais e fixadas ao substrato pelo animal. Delas eclodem planárias jovens. O desenvolvimento, portanto, é direto.



Esquema de cópula em planárias, de cápsulas e planárias jovens saindo de uma cápsula.

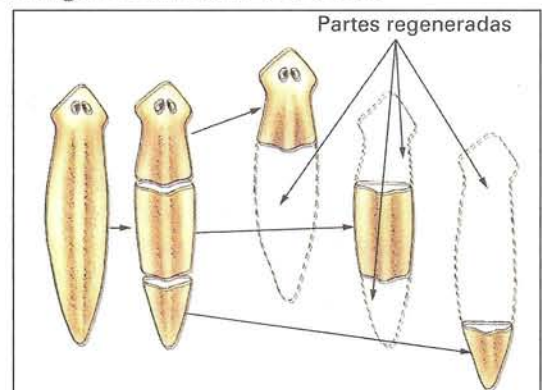
As planárias podem se reproduzir assexuadamente por fissão transversal, como mostra a figura a seguir:



Esquema de fissão transversal em planária.

Esses animais possuem grande poder de regeneração em função da presença de células do parênquima com capacidade meristemática (poder de divisão e de dar origem a outros tipos celulares).

Se dividirmos o corpo da planária, cada segmento dará origem a um novo indivíduo.



Esquema de regeneração em planária.

1.2. Classe Trematoda

Os trematódeos são platelmintos parasitas que possuem duas ventosas usadas na fixação deles ao corpo do hospedeiro, sendo uma delas ao redor da boca e outra de posição ventral. A boca comunica-se com um esôfago curto, de onde partem dois ramos intestinais, muito reduzidos.



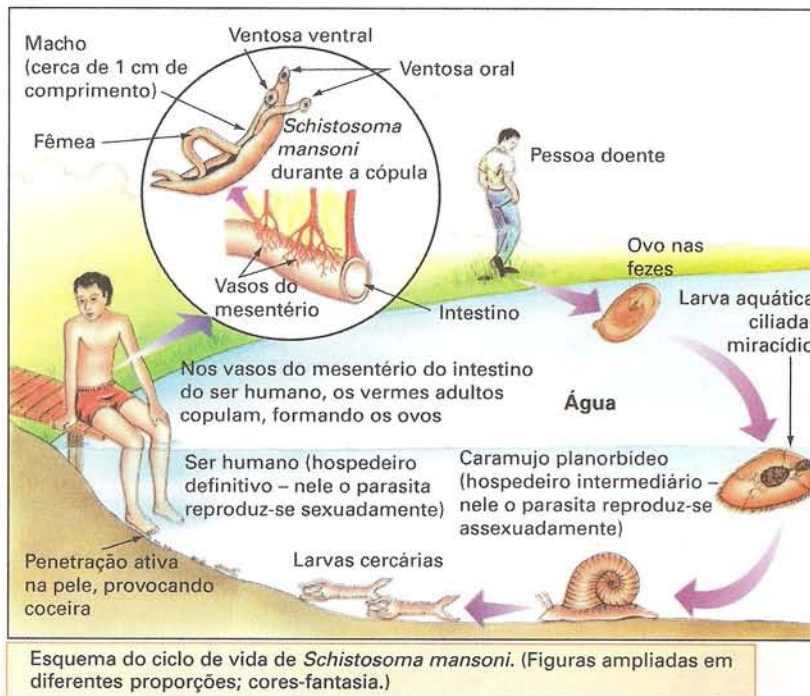
Esquema em cores-fantasia de *Fasciola hepatica*. Mede cerca de 1 cm de comprimento.

A epiderme não é ciliada e desempenha importante papel na proteção do corpo do animal contra substâncias produzidas pelo hospedeiro.

Existem espécies hermafroditas, como é o caso da *Fasciola hepatica* (parasita do fígado de carneiro, mas que pode eventualmente parasitar o fígado humano), e espécies de sexos separados, como é o caso do *Schistosoma mansoni* (parasita de vasos intestinais do ser humano que pode afetar também as veias do fígado), cujo hospedeiro intermediário é o caramujo do gênero *Biomphalaria*. O ciclo do *Schistosoma* está representado na página seguinte.



Fotografia de *Biomphalaria*.



As principais medidas profiláticas para se evitar a esquistossomose são:

- não nadar nem andar nas chamadas “lagos de coceiras”, pois elas estão contaminadas pelas larvas cercárias do esquistossomo;
- saneamento básico, evitando a contaminação do meio ambiente por fezes de pessoas que possam conter ovos de esquistossomo;
- controle da população do caramujo planorbídeo (gênero *Biomphalaria*), hospedeiro intermediário no ciclo do esquistossomo, sem o qual o ciclo não se completa;
- tratamento dos doentes.

1.3. Classe Cestoda

Os cestódeos são platelmintos parasitas, representados principalmente pelas **tênias**, parasitas intestinais.



Fotografia de parte do corpo de uma tênia na mão de uma pessoa. A região anterior é a que tem menor largura.

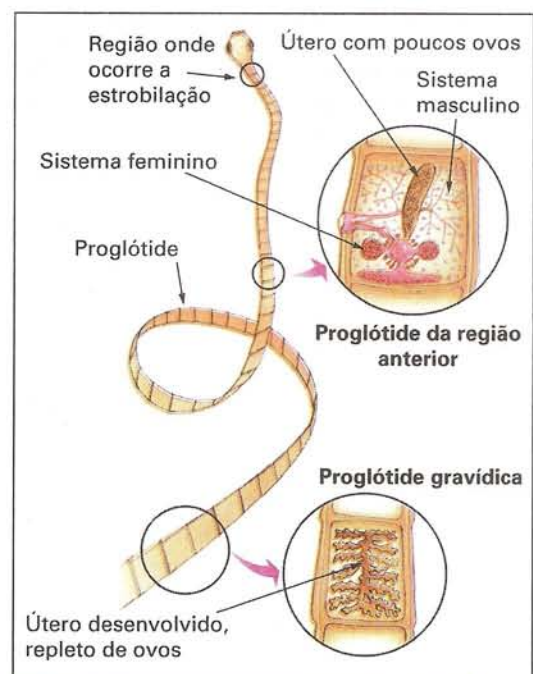
Esses animais não possuem sistema digestório; o alimento deles é obtido por absorção dos nutrientes já digeridos pelo hospedeiro. Essa absorção ocorre através da epiderme desses animais, que não é ciliada.

As espécies mais importantes para o ser humano são: *Taenia solium* e *Taenia saginata*.

Esses animais podem atingir no intestino humano até cerca de 10 metros de comprimento e geralmente existe apenas um indivíduo no corpo do hospedeiro. Por isso, são chamados também de **solitários**.

A região anterior do corpo das tênias é chamada **escólex**, na qual existem estruturas de fixação do animal à parede intestinal do hospedeiro.

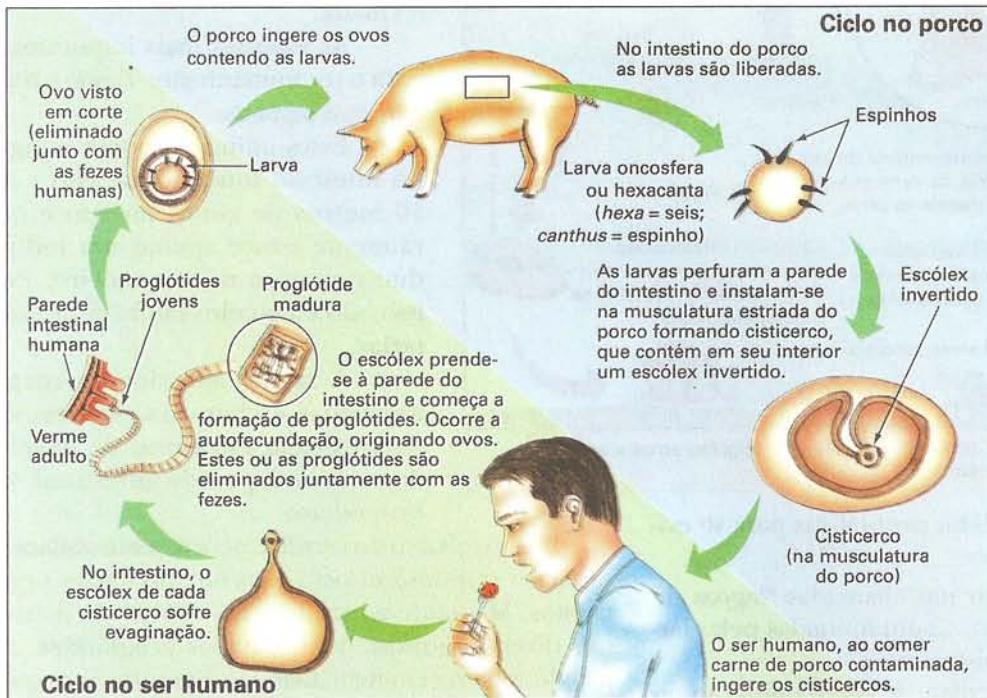
Logo abaixo do escólex, ocorre a **estrobilação**, processo responsável pelo crescimento desses organismos. Mediante a estrobilação, vão sendo formados diversos gomos, denominados **proglótides**. As proglótides recém-formadas são imaturas e pequenas, mas, à medida que se afastam da região anterior, vão se tornando sexualmente maduras e de maior dimensão.



Esquema do corpo da *Taenia* feito com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Em cada proglótide existe o sistema reprodutor masculino e o feminino. Esses animais são, portanto, **hermafroditas**. Depois que ocorre a fecundação, o útero enche-se de ovos, dando à proglótide o aspecto gravídico. As proglótides gravídicas desprendem-se e são eliminadas com as fezes humanas.

A seguir esquematizamos o ciclo de vida da *Taenia solium*, semelhante ao da *Taenia saginata*, diferindo apenas em seus hospedeiros intermediários: no caso da *Taenia solium* é o porco e no caso da *Taenia saginata* é o boi.



Esquema do ciclo de vida de *Taenia solium*. (Figuras ampliadas em diferentes proporções; cores-fantasia.)

As principais medidas profiláticas para se evitar a teníase são:

- saneamento básico;
- inspeção das carnes de porco e de boi nos abatedouros e açougues; os **cisticercos** são visíveis a olho nu como pequenas estruturas amareladas em meio às fibras da carne; essas estruturas são conhecidas popularmente como canjicas;
- cozinhar bem as carnes antes de ingeri-las, pois

o cozimento prolongado mata os cisticercos;

- tratamento dos doentes.

A *Taenia solium* e outra espécie de Cestoda, chamada *Echinococcus granulosus* (parasita do intestino do cachorro), podem provocar no ser humano uma doença grave: a **cisticercose**. Ela é contraída quando uma pessoa ingere ovos desses parasitas, e passa a atuar como hospedeira intermediária do verme. Os cisticercos são formados no corpo humano em vários tecidos, podendo afetar os olhos, o cérebro e o coração.

2. Filo Nematoda

Os nematódeos (*nema* = fio) possuem corpo alongado, cilíndrico e fino, com as extremidades afiladas.

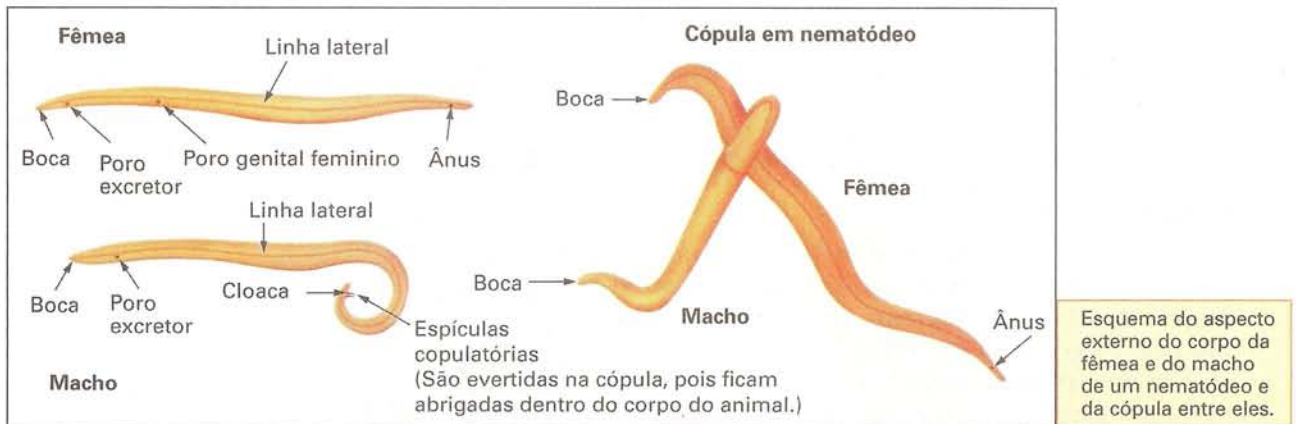
A diversidade no grupo é muito grande. A maioria dos nematódeos é de vida livre, medindo entre 1 mm e 5 cm de comprimento. São abundantes nos diferentes ambientes: solos, água doce e mares. Algumas espécies são parasitas de plantas e de animais, existindo desde representantes com cerca de 40 mm de comprimento, como é o caso das filárias, até os com cerca de 50 cm, como é o caso da lombriga.

Geralmente os nematódeos são animais de sexos separados, com dimorfismo sexual: como re-

gra a fêmea é maior que o macho, e este possui a extremidade posterior do corpo em forma de gancho, usado na cópula para envolver o corpo da fêmea.

Na extremidade anterior localiza-se a boca, geralmente circundada por lábios ou papilas sensoriais. Próximo à extremidade posterior abre-se o **ânus**, no caso das fêmeas, e a **cloaca**, no caso dos machos. A cloaca é uma abertura comum ao sistema digestório e ao sistema reprodutor. Assim, os machos eliminam espermatozoides e fezes pela cloaca; as fêmeas possuem um orifício genital separado do ânus e de localização anterior no corpo. Na cloaca existem espículas copulatórias que são

evertidas na hora da cópula e introduzidas no orifício genital da fêmea.

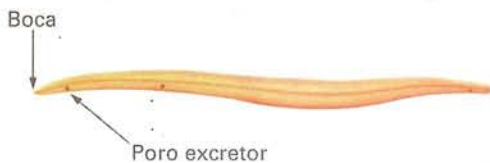


A **digestão** do alimento nos nematódeos é em parte extracelular e em parte intracelular no interior do trato digestório, que é simples.

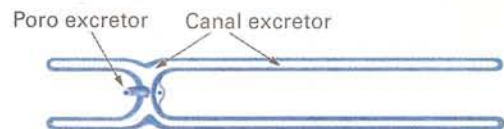
A **respiração** ocorre através da superfície corpórea; não existem estruturas especializadas para essa função. Também não possuem sistema circulatório.

O alimento digerido e os gases respiratórios “circulam” no corpo desses animais no líquido do pseudoceloma, que também atua como esqueleto hidrostático, dando sustentação ao corpo do animal e contribuindo na movimentação deles.

Os nematódeos eliminam a excreta nitrogenada através da superfície do corpo, mas o excesso de água e o excesso de certos íons, dentre outras excretas, são eliminados pelo **sistema excretor** constituído por célula especial chamada **renete**. O poro excretor localiza-se próximo à boca.



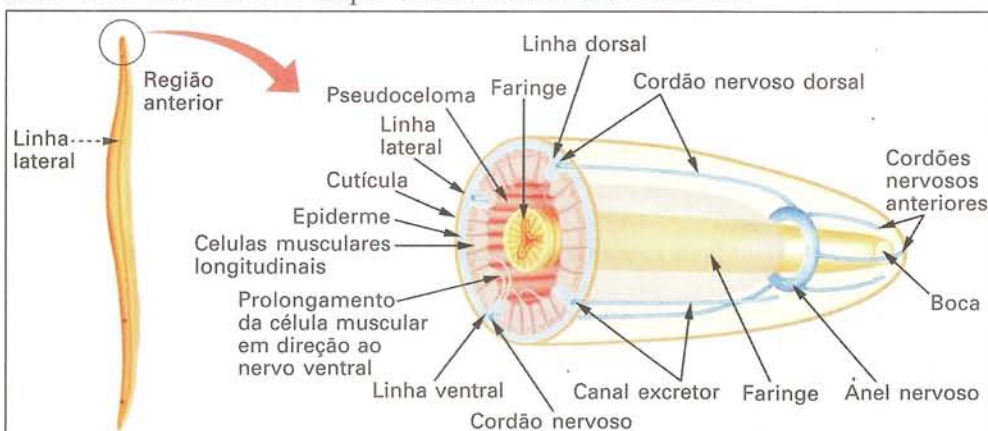
Esquema mostrando a localização do poro excretor em um nematódeo: região ventral e anterior do corpo.



Esquema feito com base em observações ao microscópio de luz de um dos tipos de renetes visto em corte longitudinal: uma única célula, com canal excretor em seu interior. Esses canais localizam-se nos espessamentos laterais da epiderme (cor-fantasia).

O corpo dos nematódeos é revestido por uma cutícula protetora, produzida pela epiderme subjacente. Em contato com a epiderme existem fibras musculares longitudinais, responsáveis pelos movimentos típicos desses animais: flexões dorsoventrais do corpo.

Essas fibras musculares enviam prolongamentos que se comunicam com os cordões nervosos: um dorsal e um ventral. Esses cordões fazem parte do sistema nervoso, formado por um anel nervoso ao redor da faringe, de onde partem quatro cordões nervosos: um de cada lado do corpo (sensoriais), um dorsal (motor) e um ventral (sensorial e motor). Os cordões nervosos localizam-se em expansões da epiderme, mais desenvolvidas na lateral do corpo, formando as chamadas **linhas laterais**. Estas podem ser identificadas até mesmo analisando o corpo desses animais externamente.



Esquema do aspecto externo e da organização interna da região anterior do corpo de um nematódeo. Os cordões nervosos estão situados dentro da epiderme, e os cordões nervosos laterais foram omitidos da figura por simplificação. Os canais excretores também se localizam dentro da epiderme, nas linhas laterais (cores-fantasia).

2.1. Nematódeos parasitas do ser humano

As principais parasitoses humanas provocadas por nematódeos encontram-se resumidas a seguir. Todas as espécies mencionadas possuem sexos separados, reproduzindo-se sexuadamente. A fecundação é sempre interna.

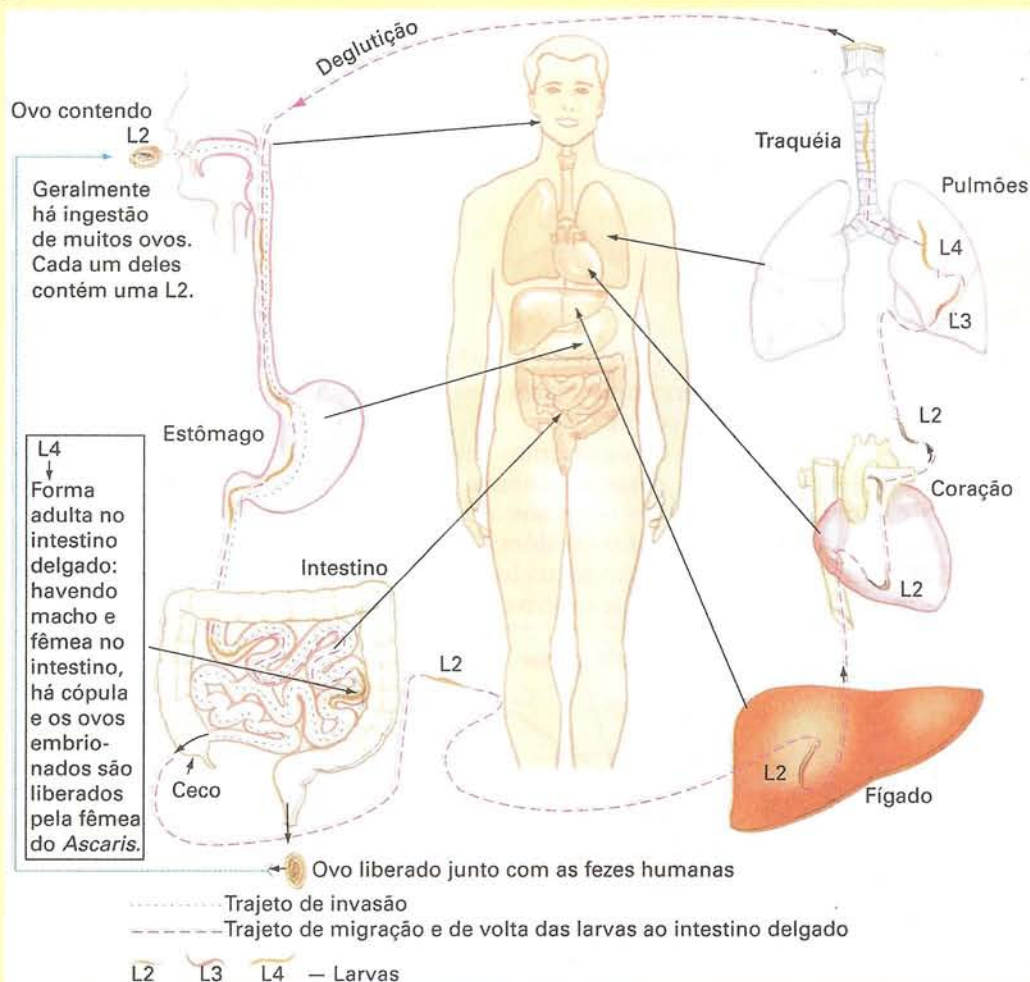
Ascaris lumbricoides (lombriga)

- **Doença:** ascaridíase.
- **Ciclo de vida:** os vermes adultos (chegam a medir cerca de 50 cm de comprimento) vivem no intestino humano, onde se reproduzem. Os ovos são eliminados pelo poro genital das fêmeas e misturam-se com as fezes do ser humano. Ao defecar, a pessoa elimina esses ovos e pode contaminar o meio. Se ingeridos pelo ser humano, esses ovos eclodem no intestino, dando origem a larvas que perfuram a parede intestinal e caem na corrente sanguínea. Atingem o fígado, o coração e os pulmões. Perfuram os alvéolos pulmonares e sobem pelos brônquios até atingir a faringe. São novamente deglutidos e, ao atingirem o intestino, dão origem aos vermes adultos, reiniciando o ciclo.



BSIP/Keystone

Fotografia de fêmea de *Ascaris lumbricoides*. Mede cerca de 50 cm de comprimento.



Esquema do ciclo de vida de *Ascaris lumbricoides*.
(Figuras ampliadas em diferentes proporções; cores-fantasia.)

- **Modo de transmissão:** ingestão de alimentos e de água contaminados por ovos de lombriga. É um parasita **monoxeno**, pois seu ciclo de vida se completa em apenas um hospedeiro. Quando há necessidade de dois hospedeiros, os parasitas são chamados de **heteroxenos**.
- **Medidas profiláticas:** saneamento básico, lavar bem os alimentos, filtrar ou ferver a água antes

de ingeri-la, lavar as mãos antes das refeições; tratamento dos doentes.

- **Sintomas:** cólicas intestinais e náusea pela presença do parasita no intestino; manchas brancas na pele em decorrência de toxinas eliminadas pelo parasita; bronquite e pneumonia em decorrência de migração de larvas do parasita respectivamente para brônquios e pulmões.

Ancylostoma duodenale e *Necator americanus*

- **Doença:** ancilostomose, necatoríase, opilação ou amarelão.
- **Ciclo de vida:** os adultos (medem cerca de 15 mm de comprimento) vivem no intestino delgado humano, onde se reproduzem. Eles possuem estruturas cortantes ao redor da boca, com as quais causam lesões à parede do intestino delgado. As fêmeas eliminam os ovos; que vão se misturar com as fezes do hospedeiro. Ao defecar, a pessoa elimina esses ovos juntamente com as fezes, podendo contaminar o meio. Desses ovos eclodem larvas que ficam no solo úmido, de onde podem penetrar ativamente na pele humana. São conduzidas pela corrente sanguínea até o pulmão, perfuram os alvéolos, vão para os brônquios e para a boca. São engolidas, passam para o intestino, dão origem ao verme adulto e reiniciam o ciclo.

- **Modo de transmissão:** penetração ativa de larvas do parasita, presentes no solo, no corpo humano através da pele. Essas larvas medem cerca de 700 µm de comprimento.

- **Medidas profiláticas:** saneamento básico; evitar contato da pele com solos contaminados por larvas desses parasitas; tratamento dos doentes.
- **Sintomas:** anemia, por perda de sangue nas lesões da parede do intestino delgado provocadas pelos parasitas. A pessoa fica pálida, amarelada (daí essa doença ser chamada de **amarelão**) e fraca. Há também irritação na pele, no momento da penetração da larva, e problemas pulmonares, em decorrência da fase em que atingem os pulmões. No início do século XX o personagem Jeca Tatu, criado por Monteiro Lobato, representava o brasileiro da zona rural, descalço e espoliado por esses vermes intestinais.

Ancylostoma braziliensis

- **Doença:** bicho-geográfico ou *larva-migrans*.
- **Ciclo de vida:** os adultos vivem no intestino do cão ou do gato e medem cerca de 15 mm de comprimento. Após a fecundação, os ovos são liberados pelas fêmeas e misturam-se com as fezes do hospedeiro. O cão ou o gato, ao defecarem, eliminam esses ovos. Deles eclodem larvas que ficam no solo. Se essas larvas penetrarem na pele do cão ou na do gato, elas vão para o intestino e dão origem aos vermes adultos, que reiniciam o ciclo. Se as larvas penetrarem na pele humana, passam a se deslocar, irritando-a e deixando linhas avermelhadas. Neste último caso, não há for-

mação dos adultos, e o ciclo do parasita não se completa.

- **Modo de transmissão:** penetração ativa de larvas de *A. braziliensis* na pele humana.
- **Medidas profiláticas:** evitar contato da pele com solo ou areia contaminados por larvas do parasita. Evitar levar cães e gatos para praias ou tanques de areia.
- **Sintomas:** forte irritação da pele, com coceira intensa, especialmente à noite, o que pode causar insônia. A movimentação das larvas na pele produz “caminhos” sinuosos visíveis a olho nu como linhas avermelhadas, por isso o nome bicho-geográfico.

Wuchereria bancrofti (filária)

- **Doença:** filariose, que pode levar à elefantíase.
- **Ciclo de vida:** os adultos (medem cerca de 10 cm de comprimento) vivem nos vasos linfáticos humanos, onde se reproduzem. Os ovos

dão origem a larvas, chamadas **microfilárias**, que passam para a circulação sanguínea humana. Se ingeridas pelo mosquito hematófago do gênero *Culex*, essas larvas se modificam dentro

do corpo do inseto até a fase de larvas infectantes. Ao picar uma pessoa, esse inseto transmite larvas infectantes, que no ser humano dão origem aos vermes adultos, reiniciando o ciclo.

- **Modo de transmissão:** picada de mosquitos do gênero *Culex*, que transmitem as larvas desse parasita para o ser humano. Esse inseto é de hábitos noturnos, picando o ser humano à noite. É um parasita heteroxeno.
- **Medidas profiláticas:** controle da população do vetor, uso de repelentes de insetos, uso de telas em janelas e portas para evitar a entrada do mosquito nas casas; tratamento dos doentes.
- **Sintomas:** inchaço causado pela obstrução dos vasos linfáticos, que são os responsáveis pela remoção do excesso de líquidos nos tecidos. Em casos mais graves, causa a **elefantíase**: grande aumento principalmente das pernas, do escroto ou das mamas.



John Greim/SPL

Fotografia de parte dos membros inferiores de uma pessoa com elefantíase.

Oxyurus vermicularis ou *Enterobius vermicularis*

- **Doença:** oxiurose ou enterobiose.
- **Ciclo de vida:** os adultos medem cerca de 12 mm de comprimento e vivem no intestino humano, onde se reproduzem. A fêmea fica repleta de ovos, transformando-se em uma “bolsa de ovos”, que pode ser eliminada juntamente com as fezes do hospedeiro ou pode migrar e se fixar nas margens do ânus do hospedeiro, causando coceira. Ao coçar o local, a pessoa contamina suas mãos e, se colocá-las na boca, ingere esses ovos. A ingestão desses ovos pode também ocorrer por meio de alimentos contaminados. Chegando ao intestino, os ovos eclodem dando origem a larvas que se transformam em adultos e reiniciam o ciclo.
- **Modo de transmissão:** ingestão de ovos, que pode ser direta, da região anal para a boca, ou indireta, pela ingestão de alimentos contaminados.
- **Medidas profiláticas:** higiene das mãos, lavar bem os alimentos antes de ingeri-los. Como geralmente a migração das fêmeas com ovos ocorre durante a noite, é recomendável à pessoa contaminada lavar a região anal ao levantar-se e trocar a roupa íntima e os lençóis diariamente, fervendo-os e lavando-os separadamente das demais roupas da casa, para evitar a reinfecção; tratamento dos doentes.
- **Sintomas:** doença mais comum em crianças, mas pode ocorrer em adultos. Caracteriza-se por náusea, vômitos, dores abdominais e intenso prurido anal.



QUESTÕES PARA ESTUDO

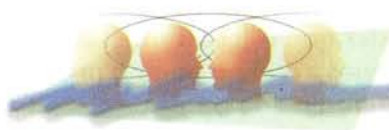
1. Faça um quadro-resumo com as características básicas dos platelmintos e dê exemplos de animais pertencentes a esse filo.
2. Compare os platelmintos de vida livre com poríferos e cnidários, quanto a alimentação, excreção e trocas gasosas.
3. Compare poríferos, cnidários e platelmintos quanto à presença e à organização do sistema nervoso.
4. Explique como as planárias conseguem localizar seu alimento no meio e ingeri-lo.
5. Explique as reproduções assexuada e sexuada das planárias.
6. Esquematize com desenhos e legendas explicativas o ciclo de vida do trematódeo que provoca a esquistossomose no ser humano. Cite o nome desse parasita e diga quais são as principais medidas profiláticas para se evitar essa parasitose.
7. Esquematize com desenhos e legendas explicativas o ciclo de vida da *Taenia saginata* e diga quais são as principais medidas profiláticas para combater essa parasitose.

8. Explique como é a organização geral do corpo de um nematódeo, mencionando peculiaridades que são exclusivas desse grupo.

9. Explique como ocorrem as trocas gasosas e a excreção nos nematódeos.

10. Construa uma tabela sobre os nematódeos parasitas do ser humano, conforme indicado a seguir:

Nome do parasita	Nome da doença	Forma de contágio	Medidas profiláticas



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Monteiro Lobato e a gênese do Jeca Tatu

“O Jeca não é assim: está assim”

Jovem promotor mal-remunerado, Monteiro Lobato improvisa-se de fazendeiro ao herdar terras de seu avô. Em fins de 1914, uma seca terrível assolava a região. O problema era agravado pelas queimadas; Lobato, indignado, descobre que não pode punir os incendiários, “pois eleitor da roça, naqueles tempos, em paga da fidelidade partidária, gozava do direito de queimar o mato próprio e o alheio”. Escreve então uma carta de protesto ao jornal *O Estado de S. Paulo*. Tal era a qualidade do texto que o jornal publica-o com destaque sob o título *A velha praga*.

“Este funesto parasita da terra é o CABOCLO, espécie de homem baldio, seminômade, inadaptável à civilização...”

Foi pouca a repercussão do primeiro artigo, mas Lobato, apaixonado pelo tema, volta a abordá-lo em um segundo texto, *Urupês*, publicado a 23 de dezembro do mesmo ano, e que transforma o fazendeiro improvisado no escritor e polemista de renome nacional.

Com enorme virulência, Lobato ataca o “indianismo balsâmico” de José de Alencar, Gonçalves Dias, Fagundes Varela, agora travestido em “cabocismo”. E compara o caboclo ao “sombrio urupê de pau podre a modorrar silencioso no recesso das grotas”. Surgia o Jeca Tatu, nome que se generalizou no país todo como sinônimo de caipira, homem do interior.

A repercussão foi grande e atinge nível nacional quando Lobato, já bastante conhecido, decide, em 1918, reunir seus artigos num livro. Seu título, também *Urupês*, graças a uma sugestão do sanitarista Arthur Neiva, a quem Lobato acompanhara numa campanha de combate à malária e à ancilostomose em Iguape, interior de São Paulo.

As três primeiras edições esgotam-se rapidamente. Os jornais alimentam a polêmica. Os saudosistas se indignam: afinal, o caboclo era o “Ai-Jesus nacional”. Mas vem a suprema consagração. Rui Barbosa, que jamais citara qualquer autor vivo, refere-se a Jeca Tatu, “símbolo de preguiça e fatalismo, de sonolência e imprevisão, de esterilidade e tristeza, de subserviência e embotamento” num discurso no Teatro Lírico.

Mas a convivência com Neiva e Belisário Pena, o contato com seus pesquisadores e a leitura do livro de Pena, *O saneamento do Brasil*, já haviam levado Lobato a rever totalmente sua concepção de caboclo. E no prefácio à quarta edição de *Urupês*, ainda em 1918, penitencia-se:

“Eu ignorava que eras assim, meu caro Jeca, por motivo de doenças tremendas. Está provado que tens no sangue e nas tripas todo um jardim zoológico da pior espécie. É essa bicharia cruel que te faz papudo, feio, molenga, inerte.”

“Um país com dois terços de seu povo ocupados em pôr ovos alheios”

Lobato não pára por aí. Indignado com a situação do país, lança-se numa vigorosa campanha jornalística em favor do saneamento.

A campanha de Lobato acaba forçando o governo a dar atenção ao problema sanitário. Cria-se uma campanha de saneamento em São Paulo, sob o comando de Arthur Neiva. O código sanitário é remodelado, transformado em lei. E o escritor reúne seus artigos sobre a questão no livro *O problema vital*.

Mas Lobato achava necessário não mobilizar apenas as elites, mas alertar e educar o povo, princi-

pal vítima da falta de saneamento. Escreve então *Jeca Tatu — a ressurreição*. O conto, mais conhecido como *Jeca Tatuzinho*, serviu de inspiração para uma história em quadrinhos bastante popular, que foi divulgada em todo o país através do *Almanaque* do Biotônico

Fontoura. Jeca, considerado preguiçoso, bêbado e idiota por todos, descobre que sofre de amarelão. Trata-se. E transforma-se em fazendeiro rico.

Extraído e adaptado de:
www.fiocruz.br/ccs/revista/n3_nov03/monteiro_lobato.htm.

- Esse texto levanta vários problemas sérios. Um deles é o rótulo: julgam-se as pessoas sem saber o motivo de serem ou estarem de determinado modo e se dá a elas um rótulo. Felizmente Monteiro Lobato conseguiu se rever a tempo e entender que o Jeca Tatu **estava** “assim” e não **era** “assim”. É importante em nossas vidas aprendermos a olhar e tratar o próximo sem preconceitos e sem rótulos. As aparências enganam, diz um ditado popular. Outra questão importante levantada no texto é sobre o saneamento básico e a falta de instrução da população, o que elevava o índice de pessoas afetadas pelo amarelão. Aponte outras questões importantes que o texto levanta em relação ao problema social e econômico das verminoses e outras parasitoses no Brasil.



TESTES

1. (MACK-SP) No quadro abaixo, o sinal + indica presença da característica e o sinal – indica ausência dessa característica.

Indique a alternativa que se aplica aos Platyelminthes.

	Sistema digestivo	Sistema circulatório	Sistema respiratório	Sistema excretor	Sistema nervoso
a)	+	+	–	+	+
b)	+	+	+	–	–
c)	+	–	–	+	+
d)	–	+	–	+	+
e)	+	+	+	+	+

2. (Cefet-PR) A contaminação dos mananciais de água doce por esgoto doméstico é uma das grandes preocupações da saúde pública. A transmissão de doenças pode ocorrer pela ingestão de água contaminada ou através de vetores que se relacionam com a água. São doenças relacionadas com a água: cólera, febre tifóide, leptospirose, giardíase, amebíase, hepatite, febre amarela, esquistossomose, gastroenterites, disenteria bacilar, filariose, malária e ascaridíase. Sobre as doenças citadas no texto é correto afirmar:

- a) A leptospirose é uma doença causada por nematelminto e transmitida pela água contaminada por urina de rato.
- b) A ascaridíase pode ser adquirida por ingestão de água contaminada por larvas e também por penetração ativa pela pele.
- c) A esquistossomose é causada por um platelminto e tem como hospedeiro intermediário um caracol que vive em lagos e lagoas.

- d) A filariose é causada por um platelminto e transmitida por um inseto que necessita da água para sua reprodução.
- e) A giardíase e a amebíase são causadas por nematelmintos e transmitidas pela água contaminada por ovos.

3. (PUC-RS) Com relação aos parasitas e às doenças que causam, pode-se afirmar que:

- I — A larva cercária, do *Schistosoma mansoni*, penetra no homem pela pele, causando-lhe a esquistossomose.
- II — A teníase é doença causada pela *Taenia solium* ou pela *Taenia saginata*.
- III — A cisticercose é doença causada pela larva da *Taenia solium*.
- IV — A lombriga ou ascaridíase é doença causada pelo *Ascaris lumbricoides*.
- V — A opilação ou amarelão é doença causada pelo *Necator americanus* ou pelo *Ancylostoma duodenale*.
- VI — A filariose, que pode originar a elefantíase, é causada pela *Wuchereria bancrofti*.

Estão corretas:

- a) todas.
- b) apenas I, II, III, IV e V.
- c) apenas I, II, IV, V e VI.
- d) apenas II, III, IV e VI.
- e) apenas I, III, V e VI.

4. (UFPB) Viajando, você chega a um local bonito com uma lagoa convidativa para um banho refrescante. Seu(sua) namorado(a) ri do nome na placa: **Lagoa da Coceira**. Além de pequenos peixes, você percebe a presença de vários caramujos muito bonitos, de conchas espiraladas planas marrom-acinzentadas. Um garoto alegre e barrigudinho acaba de sair da lagoa. Você decide:

- a) tomar um banho, porque, se existe vida (peixes e moluscos) e o garoto toma banho, a lagoa não está poluída e não oferece riscos à saúde.

- b) evitar o contato com a água, porque a “barriga-d’água” do garoto indica uma doença chamada amarelão, causada pela presença de peixes na água.
- c) tomar banho, porque usou recentemente medicamentos contra gripe e está imune a qualquer contaminação.
- d) evitar o contato com a água, porque a lagoa pode estar contaminada com cercárias, que poderão penetrar pela sua pele e causar a esquistossomose.
- e) não tomar banho, porque, provavelmente, existe o *Ascaris lumbricoides*, um verme que utiliza os moluscos como hospedeiros intermediários e pode provocar coceiras pelo corpo.

5. (Fuvest-SP) Boca e sistema digestivo ausentes, cabeça com quatro ventosas musculares e um círculo de ganchos, cutícula permeável a água e nutrientes e que protege contra os sucos digestivos do hospedeiro, sistema reprodutor completo e ovos com alta tolerância a variações de pH. O texto descreve adaptações das:

- a) lombrigas ao endoparasitismo.
- b) tênias ao endoparasitismo.
- c) lombrigas ao ectoparasitismo.
- d) tênias ao ectoparasitismo.
- e) tênias ao comensalismo.

Leia o texto abaixo para responder aos testes de 6 a 8. Em uma aula de Biologia, o seguinte texto é apresentado:

Lagoa Azul está doente

Os vereadores da pequena cidade de Lagoa Azul estavam discutindo a situação da saúde no município. A situação era mais grave com relação a três doenças: doença de Chagas, esquistossomose e ascaridíase (lombriga). Na tentativa de prevenir novos casos, foram apresentadas várias propostas:

- Proposta 1: Promover uma campanha de vacinação.
- Proposta 2: Promover uma campanha de educação da população com relação a noções básicas de higiene, incluindo fervura de água.
- Proposta 3: Construir rede de saneamento básico.
- Proposta 4: Melhorar as condições de edificação das moradias e estimular o uso de telas nas portas e janelas e mosquiteiros de filó.
- Proposta 5: Realizar campanha de esclarecimento sobre os perigos de banhos nas lagoas.
- Proposta 6: Aconselhar o uso controlado de inseticidas.
- Proposta 7: Drenar e aterrar as lagoas do município.

6. (ENEM) Em relação à esquistossomose, a situação é complexa, pois o ciclo de vida do verme que causa a doença tem vários estágios, incluindo a existência de um hospedeiro intermediário, um caramujo aquático que é contaminado pelas fezes das pessoas doentes. Analisando as medidas propostas, o combate à doença terá sucesso se forem implementadas:

- a) 1 e 6, pois envolvem a eliminação do agente causador da doença e de seu hospedeiro intermediário.
- b) 1 e 4, pois além de eliminarem o agente causador da doença também previnem o contato do transmissor com as pessoas sãs.

- c) 4 e 6, pois envolvem o extermínio do transmissor da doença.
- d) 1, 4 e 6, pois atingirão todas as fases do ciclo do agente causador da doença, incluindo o seu hospedeiro intermediário.
- e) 3 e 5, pois prevenirão a contaminação do hospedeiro intermediário pelas fezes das pessoas doentes e a contaminação de pessoas sãs por águas contaminadas.

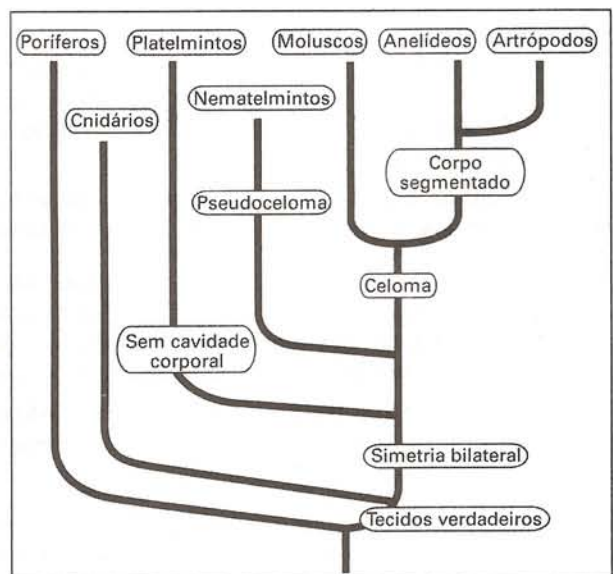
7. (ENEM) Para o combate da ascaridíase, a proposta que trará maior benefício social, se implementada pela Prefeitura, será:

- a) 1.
- b) 3.
- c) 4.
- d) 5.
- e) 6.

8. (ENEM) Você sabe que a doença de Chagas é causada por um protozoário (*Trypanosoma cruzi*) transmitido por meio da picada de insetos hematófagos (barbeiros). Das medidas propostas no texto **Lagoa Azul está doente**, as mais efetivas na prevenção dessa doença são:

- a) 1 e 2.
- b) 3 e 5.
- c) 4 e 6.
- d) 1 e 3.
- e) 2 e 3.

9. (Fuvest-SP) A figura abaixo mostra uma árvore filogenética dos grandes grupos de animais invertebrados:



Existe um filo animal, pouco mencionado nos livros de textos, chamado Gnathostomulida, cujos representantes atuais vivem entre os grãos de areia de certas praias oceânicas. Os animais desse grupo não apresentam corpo segmentado nem cavidade corporal, mas certas espécies têm tubo digestivo completo, com boca e ânus. Tais características sugerem que os gnatostomulídeos se separaram do tronco principal da árvore filogenética entre os grupos de:

- a) poríferos e cnidários.
- b) cnidários e platelmintos.
- c) platelmintos e nematelmintos.
- d) nematelmintos e moluscos.
- e) moluscos e anelídeos.

10. (UFRN) Considere as seguintes doenças:

- I — Esquistossomose
- II — Ancilostomíase
- III — Teníase
- IV — Ascaridíase

Indique a opção correspondente às doenças em que o agente causador necessita de hospedeiro intermediário para completar o seu ciclo biológico.

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e IV
- d) III e IV

11. (UFMA) Nas frases I e II, as lacunas ficariam preenchidas corretamente pela alternativa:

- I — A *Wuchereria bancrofti*, também denominada vulgarmente filária, causa no homem a ...
 - II — A classe Cestoda é constituída por animais endoparasitas. Existem duas espécies de tênias: a *Taenia solium*, encontrada na carne de ... , e a *Taenia saginata*, encontrada na carne de ...
- a) enterobiose, boi, porco.
 - b) elefantíase, porco, boi.
 - c) enterobiose, porco, boi.
 - d) elefantíase, boi, porco.
 - e) ascaridíase, porco, boi.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFMA) Descreva o ciclo de vida do *Schistosoma mansoni*.

2. (UFCE) O verme *Taenia solium* (a solitária do porco) pode, em certos casos, atingir o cérebro humano, causando cisticercose cerebral, cujos sintomas são semelhantes aos da epilepsia. Sobre esse endoparasita monóico, responda:

- a) Como é classificado esse verme em nível de Filo e Classe?
- b) Como é o ciclo de vida desse animal?

3. (Unicamp-SP) Uma criança, depois de passar férias em uma fazenda, foi levada a um posto de saúde com quadro sugestivo de pneumonia. Os resultados dos exames descartaram pneumonia por vírus ou bactéria. A doença regrediu sem necessidade de tratamento. Algumas semanas depois, um exame de fezes de rotina detectou parasitismo por *Ascaris lumbricoides* (lombriga) e por *Enterobius vermicularis* (oxiúro). A mãe foi informada de que um dos vermes poderia ter causado a pneumonia.

- a) Qual poderia ter sido o verme responsável? Justifique sua resposta.
- b) Cite outro verme que pode causar sintomas semelhantes no ser humano.

4. (Unicamp-SP) No início do século XX, o Jeca Tatu, personagem criado por Monteiro Lobato, representava o brasileiro de zona rural, descalço, malvestido e espoliado por vermes intestinais. Jeca se mostrava magro, pálido e preguiçoso, características estas decorrentes da parasitose. Sobre o personagem, Monteiro Lobato dizia: “Ele não é assim, ele está assim”, e ainda, “Examinando-lhe o sangue assombra a pobreza em hemoglobina”.

- a) Que vermes intestinais eram responsáveis pelo estado do Jeca?
- b) Tendo em vista que esta parasitose ainda hoje acomete milhões de brasileiros, o que as pessoas devem fazer para não adquiri-la? Por quê?

5. (Unicamp-SP — mod.) Alguns moluscos têm importância sanitária. Um exemplo comprovado é o do planorbídeo *Biomphalaria glabrata*, que está relacionado ao ciclo de uma doença que atinge os humanos. Por outro lado, ainda não foi comprovado se *Achatina fulica* está relacionada com a incidência de meningoencefalite. Este gastrópode foi introduzido no Brasil, sem estudos prévios, visando substituir com vantagens o “escargot” (molusco utilizado como alimento).

A qual doença os caramujos *Biomphalaria* estão relacionados? Qual o papel dos caramujos no ciclo dessa doença? Em que ambiente ocorre a contaminação dos humanos?

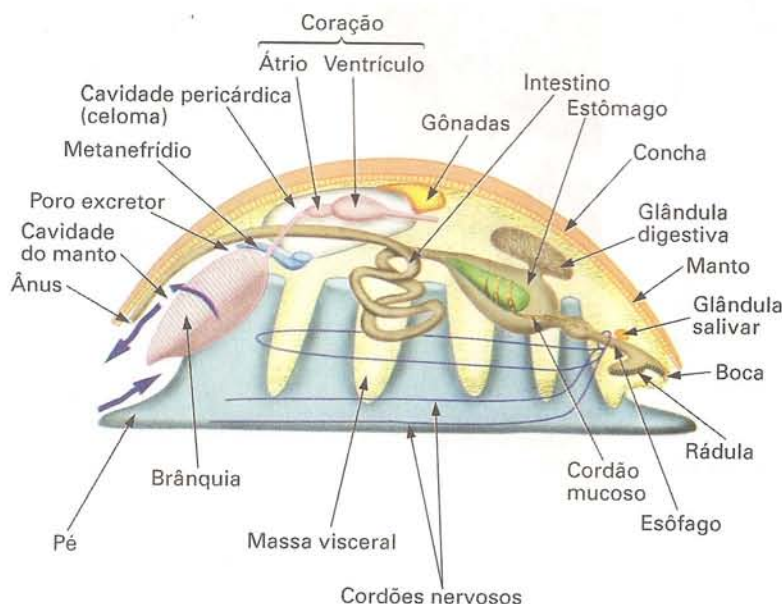


Mollusca e Annelida

1. Filo Mollusca

O filo Mollusca (moluscos) possui representantes no mar, na água doce e no ambiente terrestre. Depois do filo Arthropoda e talvez do filo Nematoda, é o que reúne o maior número de espécies. O nome Mollusca deriva do fato de os animais desse filo possuírem o corpo mole (*mollis* = mole). São exemplos de moluscos as lesmas, as ostras, os polvos, as lulas e os caracóis.

Apesar de existir grande diversidade de formas dentro do filo, os moluscos apresentam um padrão básico de organização do corpo, que está resumido na figura abaixo. Ela mostra de maneira esquemática um molusco hipotético (que não existe), mas que nos auxilia na apresentação das principais características que definem o filo.



Esquema de um molusco hipotético mostrando algumas das estruturas internas e externas importantes para a caracterização do filo (cores-fantasia).

Embora o corpo de todos os moluscos seja mole, muitos secretam um **exoesqueleto calcárioo**, a **concha**, que abriga e protege o animal. A concha geralmente é externa, mas alguns moluscos possuem concha interna e reduzida, como as lulas, e há

os que não possuem concha, como os polvos.

Os moluscos são animais de simetria bilateral, triblásticos e celomados. O celoma é reduzido e geralmente restrito à cavidade pericárdica no adulto.

O corpo é dividido em três regiões: **cabeça**, **pé** e **massa visceral**. A concha é produzida pelo **manto** ou **pálio**, que corresponde à parede externa dorsal do corpo. Em muitos moluscos o manto estende-se como uma ou duas pregas, delimitando entre ele e o corpo uma cavidade denominada **cavidade do manto** ou **cavidade palial**. Esta pode ser muito ou pouco desenvolvida dependendo da espécie.

Nessa cavidade geralmente localizam-se as estruturas responsáveis pelas trocas gasosas, que podem ser o **pulmão** ou uma ou mais **brânquias**. As brânquias relacionam-se com a respiração em ambiente aquático e o pulmão, com a respiração aérea. Algumas espécies, como é o caso de certas lesmas, efetuam as trocas gasosas através da superfície do corpo, não possuindo nem brânquias, nem pulmão.

Na maioria dos moluscos, as brânquias possuem cílios que batem no sentido de gerar uma corrente orientada de água na cavidade palial, propiciando as trocas gasosas. No grupo das lulas e dos polvos, no entanto, as brânquias não são ciliadas, e a circulação de água na cavidade palial é feita pela musculatura do manto, que é muito desenvolvida nesses animais.

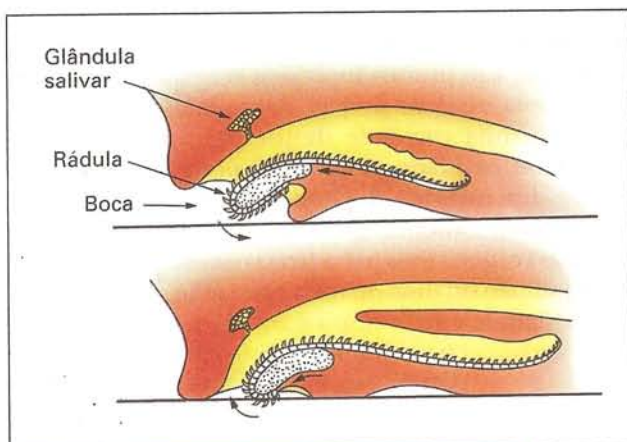
Os moluscos apresentam **sistema circulatório** que na maioria dos casos é do tipo **aberto**, ou seja, o sangue não circula sempre dentro dos vasos. Nos cefalópodes o sistema circulatório é do tipo **fechado**, ou seja, o sangue circula sempre no interior de vasos e não cai em lacunas nos tecidos.

No sistema circulatório aberto dos moluscos, o sangue sai do coração em vasos que terminam em lacunas nos tecidos e retorna ao coração também através de vasos, após a oxigenação nas brânquias ou no pulmão.

A **excreção** é feita por **metanefrídios**. Cada metanefrídio é formado por um duto que possui duas aberturas: uma delas é um funil ciliado, que filtra o líquido da cavidade celomática, e a outra é uma abertura simples na cavidade palial, por onde a excreção é eliminada do corpo do animal.

Os moluscos possuem **sistema digestório** com boca e ânus, e a digestão é inicialmente extracelular, no estômago, finalizando-se intracelularmente, nas glândulas digestivas. Nos polvos e nas lulas, entretanto, a digestão é exclusivamente extracelular.

Na cavidade bucal dos moluscos, com exceção do grupo dos bivalves, grupo ao qual pertencem as ostras, existe uma estrutura denominada **rádula**, formada por vários dentes quitinosos que, com movimentos de vaivém, raspam o substrato e contribuem para a ingestão do alimento.



Esquema em cores-fantasia da ação da rádula de um molusco (corte longitudinal na região bucal).

Os moluscos podem ser de sexos separados ou hermafroditas. Há grande diversidade de padrões reprodutivos, com fecundação interna ou externa. Muitas espécies apresentam desenvolvimento indireto, com formação de larvas, ou desenvolvimento direto, no qual indivíduos jovens saem dos ovos já semelhantes aos adultos.

O **sistema nervoso** é ganglionar, composto de pares de gânglios unidos por cordões nervosos ventrais.

As principais classes de moluscos são Polyplacophora, Gastropoda, Cephalopoda e Bivalvia:

- **Polyplacophora**: representada pelos **quítons**, cuja concha é formada por oito placas dorsais; vivem nos costões rochosos dos mares.



Fotografia de quíton, comum sob pedras na região entremarés e infralitoral do Brasil. Mede cerca de 2 cm de comprimento.

- **Gastropoda**: é a classe mais numerosa e diversificada de moluscos, com representantes marinhos, de água doce e terrestres. A concha, que pode faltar em alguns, é formada por uma única valva. Exemplos: **caramujos** e **lesmas**.



Fotografia de caramujo comum no litoral brasileiro. Possui respiração branquial e mede cerca de 6 cm de comprimento.

Pomácea — um curioso gastrópode

A pomácea é um gastrópode muito comum em lagos, que curiosamente respira por brânquia e por pulmão, podendo assim respirar na água ou no ar. Quando o teor de oxigênio na água está baixo, ela usa o ar atmosférico na respiração.

Esse animal apresenta sexos separados e fecundação interna. Na época da desova, as fêmeas vêm para a superfície e depositam um a um seus ovos nas partes aéreas de plantas aquáticas ou de outras estruturas emersas. Esses ovos possuem casca calcária resistente e porosa. O embrião em desenvolvimento no interior do ovo fica imerso numa substância de reserva alimentar de cor rósea. Em função da presença dessa substância,

a desova inicialmente tem essa cor; à medida que o embrião se desenvolve, a desova passa a ficar esbranquiçada, pois há consumo dessa reserva alimentar. De cada ovo nasce uma pequena pomácea.

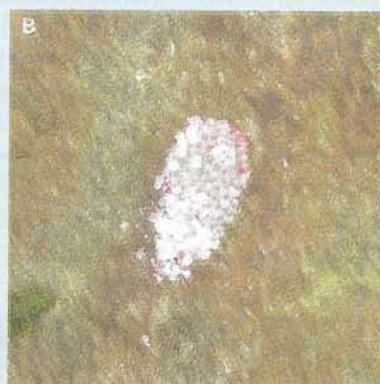


Felipe F. Curcio

Fotografia de pomácea: o animal mede cerca de 7 cm de altura.



Felipe F. Curcio



Felipe F. Curcio

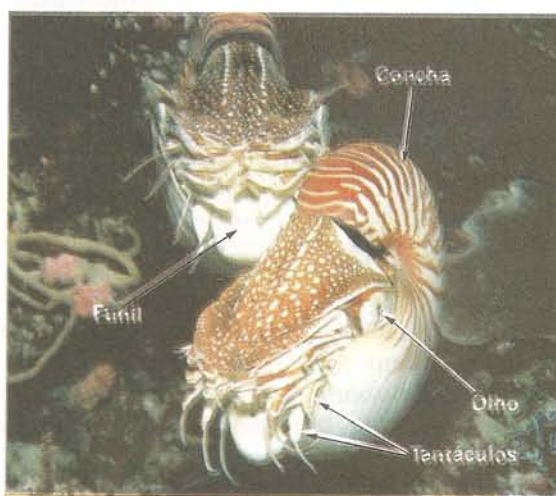
Fotografias de desova de pomáceas: **A** — aspecto da desova assim que ela ocorre; **B** — aspecto da desova perto da época da eclosão.

- **Cephalopoda:** são moluscos marinhos com a cabeça bem desenvolvida e pés modificados em tentáculos que partem da região cefálica, característica responsável pelo nome **cefalópode** (*cephalo* = cabeça; *podos* = pé; pés na cabeça). Nesses animais o pé deu origem também a outra estrutura, o **funil**, por onde o animal elimina jatos de água usados na locomoção por jatopropulsão. Ao lançar jatos de água para trás, o funil impulsiona o animal para frente; ao lançar jatos de água para frente, impulsiona o animal para trás.

Nas lulas, o deslocamento por jatopropulsão é o principal meio de locomoção. Nos polvos, é utilizado apenas em certas ocasiões, como para fugir de um predador, uma vez que são animais que vivem sobre o fundo, deslocando-se por tentáculos. Junto com esse jato de água lançado através do funil, os cefalópodes podem eliminar **tinta** escura, que é produzida e armazenada em uma bolsa de tinta que possuem na massa visceral. Essa tinta é lançada para fora em situações de perigo para o animal. Ela forma uma nuvem que confunde o perseguidor.

Os olhos são grandes e o sistema nervoso apresenta acentuada cefalização. Os cefalópodes possuem representantes sem concha (polvo), com concha interna (lula) e com concha externa (*Nautilus*).

Fotografia de polvo: cefalópode sem concha. Mede cerca de 40 cm com os braços estendidos. É uma das espécies que ocorrem no litoral brasileiro.



Fotografia de *Nautilus*: cefalópode com concha externa. Mede cerca de 15 cm de diâmetro.

Dr. Faulkner/Stock Photos



Álvaro E. Migotto

Reprodução e morte

Nos cefalópodes os sexos são separados e a reprodução é bastante curiosa. Tanto polvos quanto lulas reproduzem-se apenas uma vez em suas vidas. Após a cópula, os machos morrem e as fêmeas passam a viver somente em função do cuidado com os ovos. Assim que esses ovos eclodem, as fêmeas morrem. Essa alteração no comportamento se deve a mudanças hormonais que ocorrem na época da reprodução.

- **Bivalvia:** os **bivalves** ocorrem em água doce ou no mar; têm o corpo achatado lateralmente e possuem concha externa formada por duas valvas. É a presença dessas valvas que deu o nome à classe. São também chamados **pelecípodas**, termo que deriva do pé volumoso e achatado, ou seja, “pé em forma de machado”, presente em muitos bivalves, especialmente nos que vivem enterrados nos fundos arenosos e lodosos. No entanto, bivalves que vivem fixos a rochas e a outras estruturas rígidas, como o mexilhão e a ostra, possuem pé reduzido.



Álvaro E. Migotto

Fotografia de *Perna perna*, mexilhão comum nos costões rochosos do litoral brasileiro. Mede cerca de 5 cm de comprimento. Possui pé reduzido e se fixa às rochas por fios que o animal mesmo produz.

Em muitos bivalves, os cílios das brânquias promovem a circulação da água na cavidade palial e também atuam na seleção de partículas de alimento que possam estar presentes na corrente de água inalante. O alimento selecionado é en-

caminhado para a boca pela ação desses cílios. Assim, nesses animais, as **brânquias** atuam tanto nas **trocas gasosas** quanto na **obtenção de alimento**.

Os bivalves não possuem cabeça diferenciada, mas apresentam boca na região anterior. Não possuem rádula.

Algumas espécies de bivalve podem produzir **pérolas** de valor comercial. As pérolas formam-se quando um elemento estranho penetra entre o manto e a concha do animal. Como mecanismo de defesa, o manto secreta sucessivas camadas de material da concha, envolvendo e isolando o intruso. Quando esse material está representado por um nácar brilhante, temos a formação da pérola de valor comercial.



Cedoc

Fotografia de *Pinctada margaritifera* com as valvas abertas, mostrando uma pérola. Cada valva mede cerca de 5 cm no seu maior eixo. É uma espécie do Pacífico, que forma pérolas de valor comercial.

Extrativismo versus cultivo

A simples coleta de organismos na natureza para uso humano é chamada **extrativismo**. Essa prática pode levar ao esgotamento dos estoques naturais, caso não seja muito bem orientada.

Uma das soluções para o uso de espécies animais na alimentação humana é o cultivo ou a criação.

Os moluscos são muito apreciados como alimento, e muitas espécies vêm sendo cultivadas para o consumo humano. É o caso do gastrópode terrestre conhecido como **escargot** e dos bivalves marinhos ostras e mexilhões. Além de preservar os estoques naturais desses animais, estes são cultivados em locais onde há menor risco de contaminação, o que garante a qualidade deles como alimento.

Por exemplo, caso a água em que os bivalves vivam for contaminada, eles também se contaminam, pois são animais filtradores. Se, depois disso, forem ingeridos, podem causar danos à saúde. Assim, para o cultivo de bivalves é fundamental que a água não contenha poluentes. Como consumidores, devemos estar atentos para a procedência do alimento, evitando ingerir bivalves provenientes de locais em que não haja controle da qualidade da água.

2. Filo Annelida

Os **anelídeos** são animais que pertencem à linhagem dos celomados com metameria. Pode-se notar mesmo externamente a segmentação do corpo, formado por vários anéis, característica que deu nome ao filo.

Estão representados pelas minhocas (classe **Oligochaeta**), pelos poliquetas (classe **Polychaeta**) e pelas sanguessugas (classe **Hirudinea**):

- **Oligochaeta** (*oligo* = pouco; *chaeta* = cerda): anelídeos com poucas cerdas no corpo. Possuem **clitelo**, que é uma região espessada da epiderme cuja função é produzir um casulo que abriga os ovos fecundados durante o processo de reprodução. Existem oligoquetas que vivem enterrados em solos úmidos, como as minhocas, espécies marinhas e espécies de água doce. Os oligoquetas são hermafroditas, com fecundação cruzada e desenvolvimento direto.



Fotografia de minhoca. Ela mede cerca de 7 cm de comprimento.

Fábio Colombini/Kino.com.br

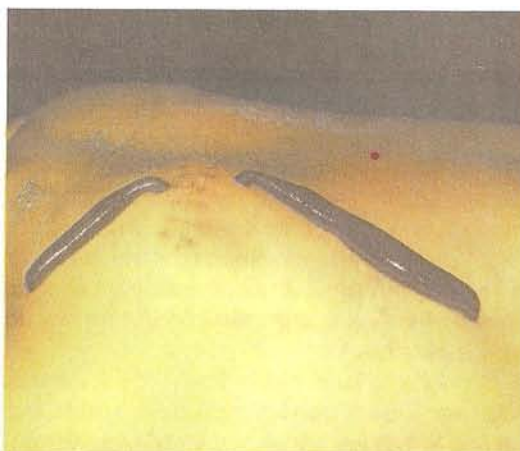
- **Polychaeta** (*poly* = muito): anelídeos com muitas cerdas inseridas em projeções laterais do corpo, denominadas **parapódios**; não possuem clitelo. A maioria dos poliquetas apresenta sexos separados e desenvolvimento indireto, com fases larvais. São principalmente marinhos, mas também ocorrem em água doce.



Luciano Candisani

Fotografia de poliquetas sedentários do grupo dos sabelídeos (cerca de 5 cm de altura). Vivem fixos ao substrato e constroem tubos ao redor de seus corpos. Na região cefálica surgem tentáculos ciliados que atuam como brânquias. Esses tentáculos capturam pequenas partículas de alimento e as conduzem até a boca.

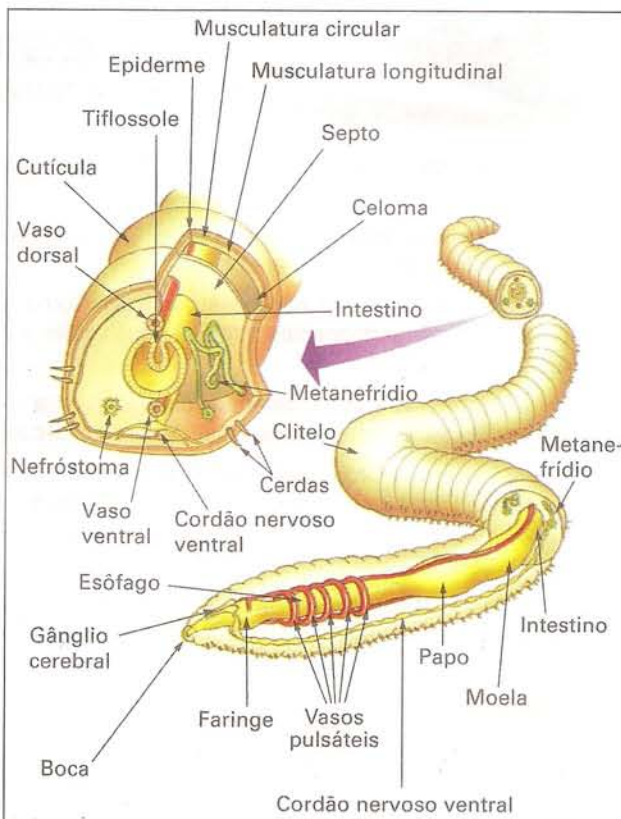
- **Hirudinea**: anelídeos sem cerdas e com ventosa ao redor da boca e na região posterior do corpo; clitelo pouco desenvolvido. Os hirudíneos são hermafroditas, com fecundação cruzada e desenvolvimento direto. Exemplo: sanguessuga.



Fotografia de *Hirudo medicinalis* sugando o sangue nas costas de uma pessoa, próximo de uma cicatriz.

St. Bartholomew's Hospital/SPL

Para conhecer um pouco sobre a organização interna do corpo de um anelídeo, vamos usar como exemplo a minhoca. Analise o esquema abaixo e leia a seguir o resumo das principais características desses animais:



Esquema da anatomia interna de um anelídeo, a minhoca (cores-fantasia).

- **sistema digestório** com boca, faringe, papo, moela, intestino e ânus;
- **sistema circulatório** fechado e com vasos pulsáteis que atuam impulsionando o sangue;
- **sistema excretor** formado por metanefrídios;
- **respiração** cutânea;
- **sistema nervoso** ganglionar, composto de diversos gânglios ligados entre si por cordões nervosos ventrais.

Minhocultura

A minhocultura, ou seja, cultivo de minhocas, é uma atividade cada vez mais difundida. Esses anelídeos podem ser destinados à medicina, a servirem de isca para pesca, à transformação em matéria orgânica, à alimentação animal, inclusive a humana (existem pratos orientais que são feitos à base de minhocas).

Durante sua movimentação no solo, uma minhoca pode remover terra em quantidade até sessenta vezes o seu próprio peso. Essa atividade aumenta a porosidade do solo, torna-o mais permeável, macio, arejado, solto e leve. Assim, a penetração das raízes, do ar e da água é facilitada, o que contribui para o desenvolvimento das plantas.

As minhocas alimentam-se de detritos que elas ingerem juntamente com a terra em que vivem. Suas fezes são depositadas na superfície do substrato e contribuem para a formação do húmus, um composto que contém muitos nutrientes, vitaminas e microrganismos benéficos, os quais melhoram o estado nutricional das plantas, aumentando-lhes a resistência contra pragas e doenças e proporcionando melhores safras e índices de produtividade.

Sem a atividade das minhocas, a transformação dos compostos orgânicos no solo é bastante lenta e com perdas apreciáveis de nutrientes. O húmus pode ser utilizado em paisagismo, floricultura, fruticultura, horticultura, viveiro de mudas e agricultura em geral, além de auxiliar na revitalização de terras exauridas por culturas sucessivas.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Descreva a organização básica do corpo de um molusco hipotético.

2. Explique o que é rádula e o que é manto. Qual é a função dessas estruturas?

3. Qual classe de Mollusca não possui rádula? Como a maioria dos animais pertencentes a essa classe obtém alimento?

4. Explique como são e como atuam as estruturas responsáveis pelas trocas gasosas e pela excreção nos moluscos.

5. Diferencie sistema circulatório aberto de sistema circulatório fechado. Diga quais, dentre os moluscos, são os grupos que possuem sistema circulatório aberto e quais possuem sistema circulatório fechado.

6. Construa uma tabela resumindo as classes do filo Mollusca mencionadas neste capítulo, suas características e seus exemplos:

Classes	Características	Exemplos

7. Caracterize o filo Annelida.

8. Diga como são os sistemas digestório, circulatório, excretor e nervoso dos anelídeos.

9. Compare o modo como os anelídeos efetuam as trocas gasosas com o que ocorre nos platelmintos, nos nematódeos e nos moluscos.

10. Construa uma tabela que resuma as principais classes de anelídeos, suas características e exemplos:

Classes	Características	Exemplos

11. A minhoca é hermafrodita. O sistema reprodutor masculino possui:

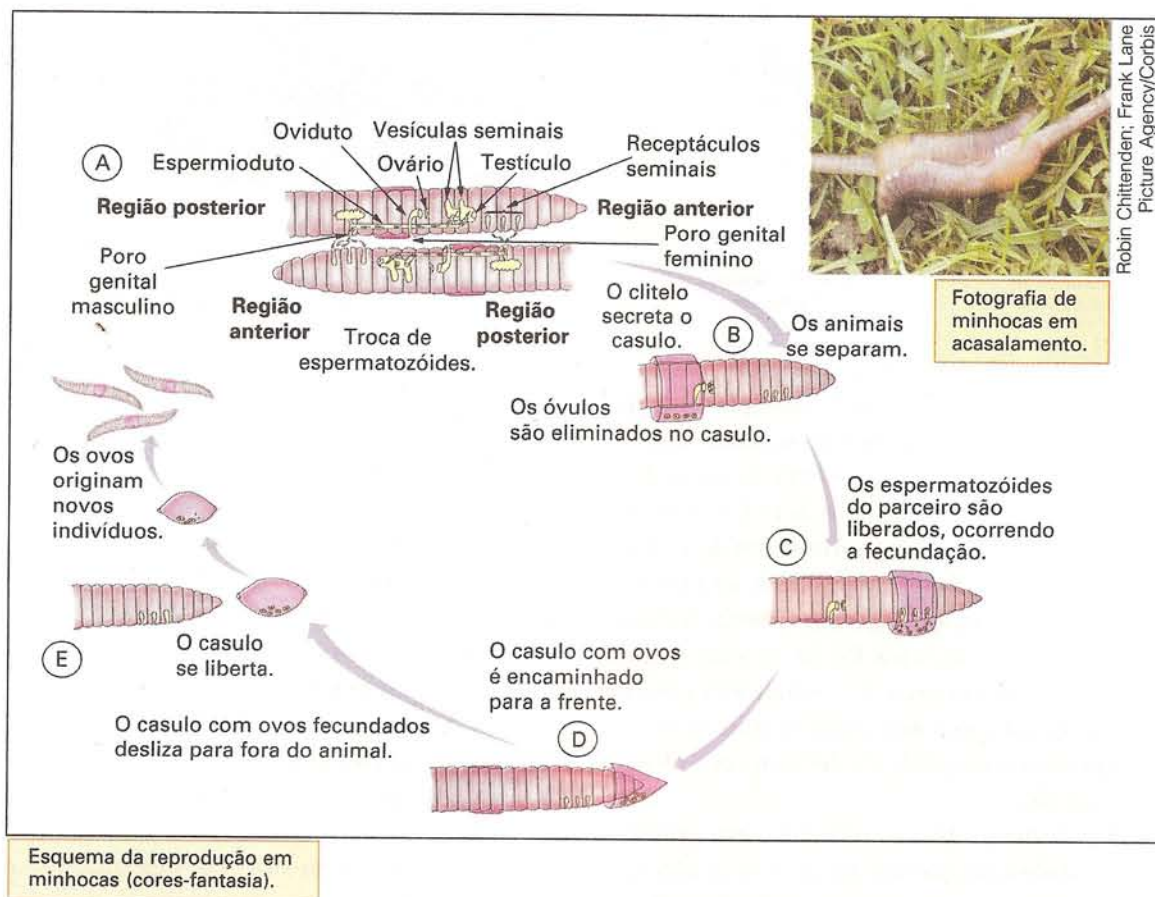
- **testículos** (produzem espermatozoides);
- **vesículas seminais** (recebem os espermatozoides produzidos pelo testículo do mesmo animal);
- **espermioduto**, duto que conduz os espermatozoides armazenados nas vesículas seminais até o poro genital masculino;
- **poro genital masculino**, abertura por onde os espermatozoides saem do corpo da minhoca.

O sistema reprodutor feminino é formado por:

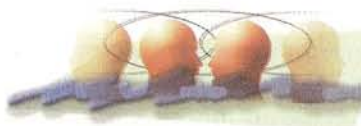
- **ovários**, onde ocorre a produção de ovócitos;
- **oviduto**, duto que conduz os ovócitos até o poro genital feminino;
- **poro genital feminino**, abertura por onde os ovócitos saem do corpo da minhoca.

Além dessas estruturas, existem os **receptáculos seminais** ou **espermatecas**, pequenas reentrâncias na parede externa do corpo da minhoca e que armazenam os espermatozoides do parceiro.

Analisar o esquema a seguir, que descreve de forma resumida a reprodução em minhocas. A partir de sua análise, explique o processo reprodutivo desses animais por meio de um texto explicativo.



12. Você já deve ter visto, em alguns estabelecimentos comerciais que vendem produtos de jardinagem, o “húmus de minhoca”. Explique como esse húmus é produzido e a importância dele para as plantas.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Quando o escargot vira praga

Os caracóis terrestres, conhecidos como *escargots*, conquistaram grande número de apreciadores em todo o mundo, e, só na França, cerca de 200 mil pessoas têm na criação e comercialização dos caracóis a sua principal fonte de renda. O crescente aumento do consumo dessa iguaria pelos brasileiros tem despertado o interesse de criadores e produtores nacionais de *escargots*. Essa euforia, porém, esconde um grande problema, que em breve pode alcançar desastrosas e indesejáveis proporções: os caracóis atualmente cultivados no Brasil, além dos legítimos *escargots* da espécie *Helix aspersa*, pertencem a outra espécie, a *Achatina fulica*, uma verdadeira

praga da agricultura, que devasta hortas e plantas ornamentais, causando muitos danos ao ambiente e prejuízos ao homem.



Georgette Douwma/
Science Photo Library

Fotografia de *escargot* verdadeiro: *Helix aspersa*.
A concha mede cerca de 6 cm de comprimento.



Luiz Roberto de O. Fontes

Fotografia de falso *escargot*: *Achatina fulica*.
A concha mede cerca de 8 cm de comprimento.

Originária do leste da África, a *Achatina fulica* foi introduzida em grande parte dos países tropicais e dos subtropicais indo-pacíficos. Além dos prejuízos no cultivo, esses moluscos atuam como hospedeiros intermediários de larvas de helmintos (vermes), agentes causadores de verminoses de interesse médico e veterinário, entre elas a angiostrongilíase, grave doença que afeta o sistema nervoso central humano e, de outra forma, o trato digestivo. Nesse caso, os sintomas são semelhantes aos da apendicite aguda, podendo motivar tratamento cirúrgico quando acompanhada de tumores e obstruções intestinais.

Os grandes problemas relativos a esses animais são a velocidade com que se reproduzem, as elevadas taxas de crescimento que atingem, o pronunciado índice de fecundidade e a possibilidade de realizarem autofertilização, ou seja, não necessitam obrigatoriamente de parceiros para se multiplicarem. Um único indivíduo dessa espécie pode desovar de 27 a 356 ovos, uma vez ao ano, durante cinco anos, alcançando a média anual de duzentos ovos, ou de mil ovos durante a vida. O período de incubação leva de um a quinze dias. A maturidade sexual é alcançada no final do primeiro ano de vida e, a partir daí, cada sobrevivente estará apto a reproduzir-se e gerar milhares de novos descendentes. Analisando esses impressionantes números, fica fácil entender por que a *Achatina fulica* rapidamente se estabelece como praga.

Depois de instalado o problema, solucioná-lo é muito complicado. Existem algumas tentativas de controle já experimentadas. A primeira, o chamado controle químico, é realizada por meio de pesticidas encontrados em lojas de insumos agrícolas. Geralmente os pesticidas são produtos altamente tóxicos e

perigosos para animais domésticos e para o próprio ser humano. Apresentam risco de contaminação de lençóis freáticos, são caros e sua utilização em larga escala é praticamente inviável. Os moluscos são quimicamente atraídos e se alimentam do pesticida, morrendo horas ou até dias mais tarde, longe do local onde ingeriram o veneno. Conseqüentemente, não podem ser recolhidos e enterrados. Os animais em putrefação nas proximidades de habitações humanas atraem inúmeras moscas, que depositam nas carcaças dos caracóis suas larvas, representando um novo problema para a saúde pública.

A segunda tentativa no combate à praga é o controle biológico: a *Achatina fulica* não é vista como peste na África, seu lar original, supostamente devido à atuação de inimigos naturais no controle da população dos caracóis. Poderia haver introdução de espécies malacófagas (que se alimentam de moluscos), porém a possibilidade de essas espécies introduzidas para o controle biológico se tornarem, elas mesmas, novas pragas, tão problemáticas ou piores do que os próprios *escargots*, é sempre um fator que limita ou inviabiliza esse tipo de utilização.

Assim como o controle químico, as espécies malacófagas podem não ser específicas para combater a *Achatina fulica* propriamente dita. Irão atuar também em toda a malacofauna local, causando perda de diversidade biológica e reduzindo ainda mais a competição das espécies nativas com a invasora, o que representa maior facilidade ainda de colonização por parte desta.

O método que vem se mostrando ao longo do tempo como o único satisfatório na tentativa de manter em índices normais as populações invasoras de *Achatina fulica* é a coleta e destruição dos animais.

De longo prazo, a técnica necessita da ação conjunta do governo e da população e, acima de tudo, de campanhas educativas veiculadas pela mídia e educação ambiental nas escolas.

Também são utilizados outros tipos de controle e medidas de proteção, como a eliminação de lixo acumulado nas cidades e de refúgios (entulhos, telhas etc.) em vilas, casas, hortas e jardins. Essas medi-

das simples objetivam dificultar a colonização de *Achatina fulica*, que busca abrigo e alimento nesses ambientes. Para a proteção de pequenas áreas ou árvores frutíferas, seria ideal a combinação de uma ou mais medidas. Afinal, a melhor forma de combater a praga é, sem dúvida, impedir que ela se estabeleça.

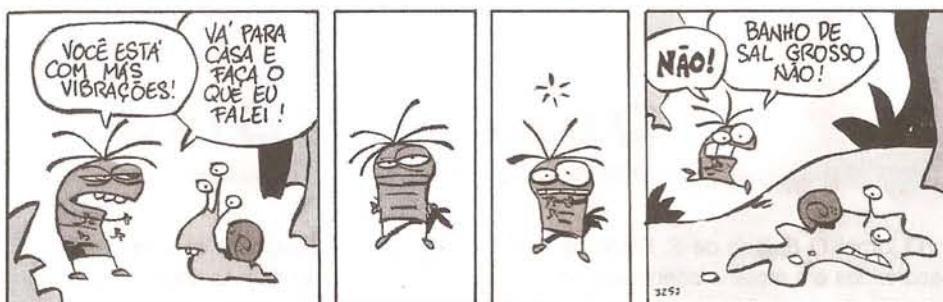
Revista *Ciência Hoje*, v. 30, n. 175, 2001.

- Tomando como exemplo o caso contado nesse texto, discuta a importância dos conhecimentos biológicos para o equilíbrio dos ecossistemas e como se pode conscientizar a população humana sobre as questões que foram levantadas.

TESTES

1. (MACK-SP)

NÍQUEL NÁUSEA — Fernando Gonsales



Indique a explicação correta para o fenômeno observado acima.

- O sal provoca uma reação alérgica no caramujo, resultando na sua desintegração.
- A pele do caramujo reage com o sal, formando um composto instável que rompe as células.
- O sal é absorvido pelas células da pele do caramujo, cujo citoplasma se torna mais concentrado, provocando perda de água pelas células.
- O sal provoca a desintegração das membranas celulares do caramujo.
- O sal se dissolve no muco que recobre o corpo do caramujo, tornando-se uma solução hipertônica, o que provoca a saída de água do corpo por osmose.

2. (PUC-RS) Os turbelários, em sua maioria, são carnívoros e capturam vários tipos de invertebrados suficientemente pequenos para lhes servir de alimento. Alguns se alimentam de animais mortos que afundam na água. Protozoários, rotíferos e diminutos crustáceos fazem parte do seu cardápio normal. Existem aqueles que se alimentam de algas diatomáceas e outros, ainda, são parasitos.

O texto acima se aplica ao estudo dos:

- anelídeos.
- celenterados.
- moluscos.
- platelmintos.
- nematódeos.

3. (UFPI) Os moluscos constituem um grupo abundante e diversificado de animais que apresentam corpo mole, com

ou sem concha, simetria bilateral, sendo triblásticos e celomados. Aponte a alternativa que indica corretamente todos os possíveis habitats desses animais.

- Ambientes aquáticos e terrestres.
- Ambiente marinho.
- Ambientes aquáticos: marinho e dulcícola.
- Ambientes marinho e terrestre.
- Ambientes dulcícola e terrestre.

4. (UFPA) A rádula presente em alguns moluscos é uma estrutura relacionada com:

- transpiração.
- reprodução.
- excreção.
- locomotoção.
- alimentação.

5. (Vunesp-SP) Observe o esquema:



Suponha que o pássaro, se quiser comer a minhoca, tenha que passar por seis círculos que contenham pistas (informações) com características deste anelídeo, não podendo pular nenhum círculo. Um caminho correto a ser percorrido é:

- 2, 3, 6, 9, 8 e 11.
- 2, 3, 6, 5, 8 e 11.
- 1, 4, 7, 8, 9 e 11.
- 2, 3, 6, 5, 8 e 10.
- 3, 2, 1, 4, 7 e 10.

6. (UFRN) Se uma minhoca for seccionada transversalmente, em duas partes de mesmo tamanho, cada uma das partes resultantes pode continuar a mover-se de forma independente.

Isso é possível devido ao funcionamento do(a):

- sistema nervoso difuso.
- cadeia nervosa ventral.
- sistema nervoso cérebro-espinhal.
- gânglio cerebriode.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) O jornal *O Estado de S. Paulo* de 2 de agosto de 1997 noticiou a descoberta de "colônias de vermes desconhecidos escondidos em metano congelado emergindo do fundo do mar. (...) As criaturas parecem pertencer a uma espécie nova na família dos organismos conhecidos como poliquetos (...). Elas parecem cegas, mas têm bocas, aparelho digestivo e um sistema de circulação complexo".

As características mencionadas não permitem classificar esses novos organismos como poliquetos.

- A que filo pertencem os poliquetos?
- Cite duas características que, em conjunto, permitiriam identificar esses animais como poliquetos.
- Quais são as outras duas classes deste filo? Dê uma característica de cada uma que as diferencie dos poliquetos.



Arthropoda e Echinodermata

1. Filo Arthropoda

O nome desse filo deriva do fato de que todos os animais a ele pertencentes possuem **pernas articuladas** (*arthros* = articulação; *podos* = pé). Entretanto, não só as pernas são articuladas, como também as demais extremidades, representadas pelas antenas e peças bucais.

Os artrópodes constituem o mais numeroso grupo animal existente na Terra: de cada quatro animais existentes, três são artrópodes! Pertencem a esse filo borboletas, moscas, aranhas, caranguejos, escorpiões, centopéias, libélulas, besouros e tantos outros animais.

Os artrópodes são triblásticos, celomados, de simetria bilateral.

São animais com metameria, sendo comum a fusão de metâmeros formando **tagmas**. Os insetos, por exemplo, possuem o corpo dividido em três tagmas — cabeça, tórax e abdome.

Possuem exoesqueleto quitinoso, o qual, em alguns casos, apresenta impregnações que aumentam sua rigidez. Isso ocorre, por exemplo, com o exoesqueleto dos crustáceos (siris, caranguejos), que é impregnado de sais de cálcio.

O exoesqueleto envolve totalmente o corpo do animal. Periodicamente, em evento denominado **muda** ou **ecdise**, o exoesqueleto separa-se da epiderme, que começa a secretar um novo exoesqueleto. O exoesqueleto antigo rompe-se em locais determinados, e o animal o abandona. O exoesqueleto recém-formado é ainda pouco rígido e distende-se à medida que o animal cresce rapidamente. Assim que o exoesqueleto enrijece, o animal pára de crescer até a próxima muda. Em função disso, a curva de crescimento dos artrópodes difere da que se verifica em outros animais.



Keith Kent/SPL

Fotografia de cigarra em processo de muda. Mede cerca de 3 cm de comprimento.

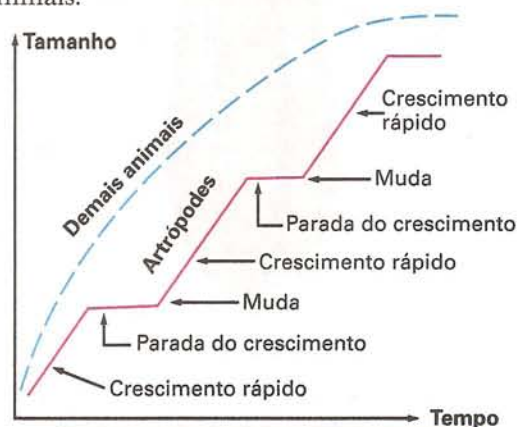
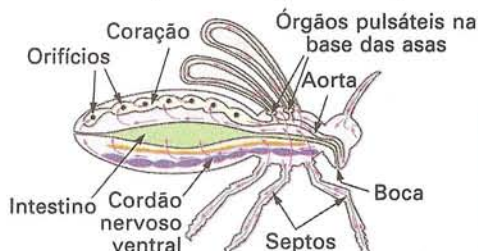


Gráfico das curvas de crescimento dos artrópodes e dos demais animais.

Nos artrópodes, a **circulação é aberta**, com um coração alongado dorsal, que apresenta orifícios (óstios) através dos quais o sangue entra; não existe cavidade pericárdica.



Esquema em cores-fantasia do sistema circulatório aberto em artrópodes, tomando por base um inseto. As setas indicam o trajeto do sangue. Septos (ou membranas), especialmente nas pernas, orientam o sentido da circulação. É importante ressaltar que o sangue dos insetos não transporta gases respiratórios, como será discutido adiante.

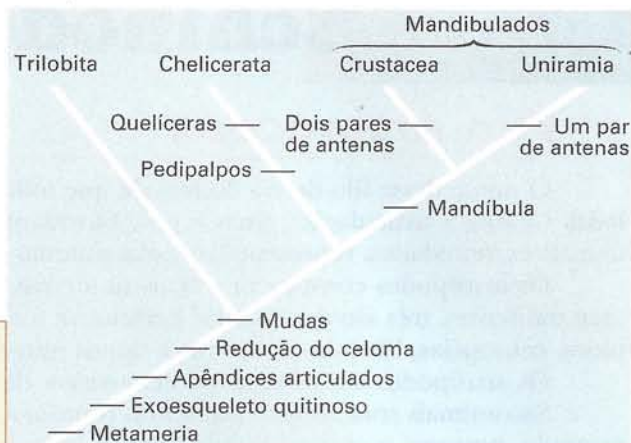
Os **órgãos excretores** desses animais têm por característica filtrar excretas do sangue, uma vez que não possuem cavidade celomática ampla. Nos anelídeos e nos moluscos, os órgãos excretores filtram excretas do líquido celomático. De acordo com o grupo de artrópode, esses órgãos recebem nomes específicos, como veremos a seguir.

O **sistema nervoso** apresenta, em geral, gânglios cerebrais bem desenvolvidos, de onde parte o cordão nervoso ventral, ganglionar.

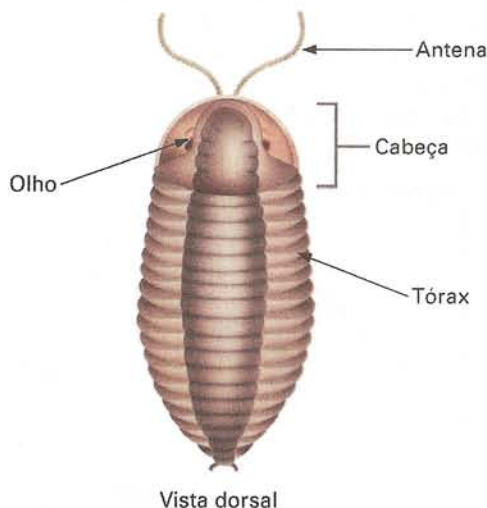
1.1. Os grupos de artrópodes

A classificação dos grupos de artrópodes varia de acordo com as várias hipóteses filogenéticas. A que adotamos nesta obra interpreta os artrópodes como um filo, que é, portanto, monofilético, no qual se podem detectar quatro grandes linhas evolutivas, que constituem quatro subfilos. O cladograma ao lado resume essa proposta de classificação.

Cladograma simplificado dos subfilos de artrópodes, destacando algumas das características mais marcantes.



- **Trilobita:** não tem representantes na fauna atual, mas foi um grupo muito abundante em épocas geológicas passadas. Vivia nos mares;



Esquema de um trilobita, artrópode marinho extinto. Mede cerca de 2 cm de comprimento (cores-fantasia).

- **Chelicerata:** artrópodes que possuem **quelíceras** e estão representados principalmente pelas classes **Arachnida** (aranhas e escorpiões) e **Merostomata** (límulus ou caranguejo-pata-de-cavalo). A classe Merostomata está representada apenas pelo gênero *Limulus*, animais que vivem na areia de mares rasos mas não ocorrem no Brasil. Esta última classe não será estudada neste livro.



Fotografia de *Limulus*, vulgarmente conhecido como caranguejo-pata-de-cavalo. É um quelicerado da classe Merostomata. Mede cerca de 60 cm de comprimento, incluindo a cauda.

- **Uniramia:** subfilo representado pelos artrópodes que possuem apêndices articulados não ramificados, como antenas e pernas, formados por apenas um ramo; daí o nome do grupo. Nesse subfilo estão as classes **Insecta** (moscas, mosquitos, abelhas e formigas, por exemplo), **Diplopoda** (piolho-de-cobra) e **Chilopoda** (centopéias);
- **Crustacea:** subfilo com cerca de dez classes, cujos representantes mais conhecidos são os siris, as lagostas e os camarões;

Vamos conhecer um pouco mais a respeito dos insetos, dos diplópodes, dos quilópodes, dos crustáceos e dos aracnídeos, deixando claro que eles não pertencem à mesma categoria taxonômica segundo a classificação que está sendo adotada em nosso estudo. Dentre os organismos mencionados, os crustáceos correspondem a um subfilo e os demais pertencem a classes.

Esses grupos de artrópodes podem ser facilmente reconhecidos com base em algumas caracte-

rísticas de sua morfologia externa, como resumido na tabela a seguir:

GRUPOS	CARACTERÍSTICAS					
	Divisão do corpo	Número de pernas	Número de antenas	Quelíceras	Pedipalpos	Mandíbulas
Classe Insecta	Cabeça, tórax, abdome	3 pares	1 par	—	—	1 par
Classe Chilopoda	Cabeça e tronco	1 par por segmento do tronco	1 par (longas)	—	—	1 par
Classe Diplopoda	Cabeça e tronco	2 pares por segmento do tronco	1 par (curtas)	—	—	1 par
Subfilo Crustacea	Cabeça, tórax e abdome, ou cefalotórax e abdome	Varia dependendo do grupo	2 pares	—	—	1 par
Classe Arachnida	Cefalotórax e abdome, ou prosoma e opistosoma	4 pares	—	1 par	1 par	—

Classe Insecta

A maioria dos insetos é terrestre, embora existam algumas espécies que se adaptaram à vida no ambiente aquático.

Os insetos são os únicos invertebrados que possuem representantes voadores; alguns possuem duas asas, como é o caso das moscas, enquanto outros possuem quatro asas, como as libélulas, borboletas e mariposas.

Apesar de a presença de asas ser uma característica importante do grupo, nem todos os insetos as possuem, como se verifica em traças-de-livro, pulgas, piohos, formigas e cupins. Entre as formigas e os cupins existem grupos que desenvolvem asas na época da reprodução, perdendo-as novamente após a cópula.

O corpo dos insetos é dividido em cabeça, tórax e abdome.

de diversas maneiras. Existem espécies em que o aparelho bucal é:

- **mastigador** (gafanhotos, baratas);
- **sugador** (borboletas e mariposas);
- **sugador picador** (barbeiro, mosquitos e pulgas);
- **sugador não-picador** (mosca doméstica);
- **lambedor** (abelhas e vespas).

Outra característica importante dos insetos é a presença de três pares de pernas no tórax. Nas espécies aladas de insetos, é do tórax que partem as asas.

O abdome não contém apêndices locomotores.

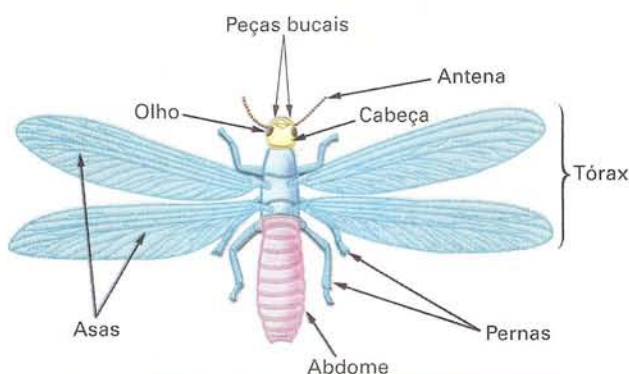
O **sistema digestório** é constituído de boca, papo, cecos gástricos, estômago, intestino e ânus. Existem glândulas salivares junto à boca.

Os **órgãos excretores** dos insetos são os **túbulos de Malpighi**. Esses tubos possuem uma das extremidades em fundo cego e a outra abre-se na porção posterior do intestino. Neles há filtração do sangue presente no amplo espaço corpóreo, reabsorção de água e concentração de excreta nitrogenada; nesses animais, a excreta nitrogenada é o **ácido úrico**.

Dentre os tipos principais de excreta nitrogenada que podem ocorrer nos animais, o ácido úrico é a excreta menos tóxica e é insolúvel em água. Por isso sua eliminação do corpo do animal não requer água, o que não ocorre com as demais excretas nitrogenadas: a **amônia** é a mais tóxica delas e a que exige maior quantidade de água para sua eliminação, vindo depois a **uréia**, que é menos tóxica do que a amônia e precisa de menor quantidade de água para sua eliminação.

A excreção de ácido úrico nos insetos foi mais uma das características que possibilitou a esses animais invadir o ambiente terrestre com sucesso.

Na região mais posterior do intestino, no **reto**, existem as **glândulas retais**, que removem o restante da água da urina e das fezes, dando origem a uma massa dura e seca: as **bolotas fecais**, que são elimi-

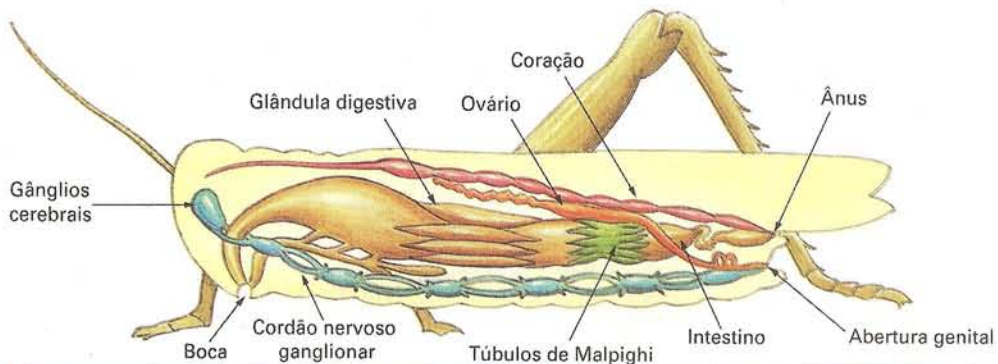


Esquema que mostra a organização do corpo de um inseto em vista dorsal (cores-fantasia).

Na cabeça dos insetos estão presentes tipicamente um par de **antenas**, um par de **olhos compostos** (olhos formados por várias unidades denominadas **omatódios**), três **olhos simples**, além dos apêndices bucais, entre os quais se destaca um par de **mandíbulas**.

Os insetos apresentam grande diversidade de peças bucais, o que lhes propicia explorar o meio

nadas do corpo do animal. Esse mecanismo eficiente de retenção de água no interior do corpo é de grande valor adaptativo ao ambiente terrestre.



Esquema da organização interna do corpo de um inseto, no caso, um gafanhoto (cores-fantasia).

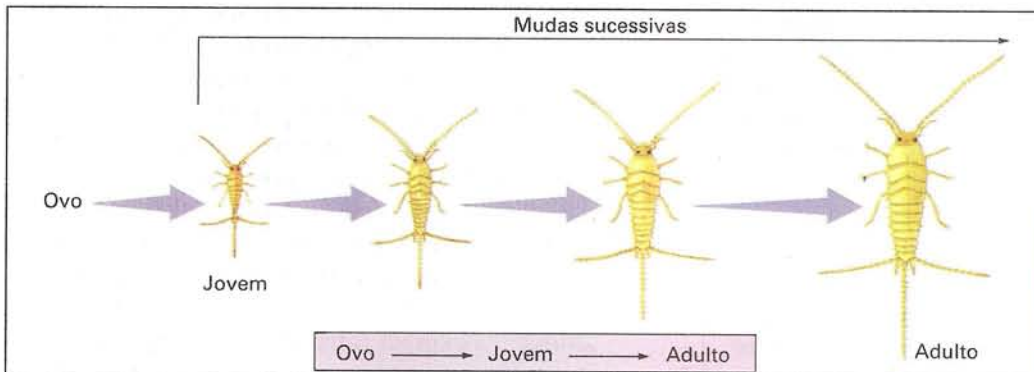
A **respiração** é realizada por **traquéias**, invaginações da parede do corpo que se ramificam muito até ficar em contato direto com as células do interior do animal. As traquéias comunicam-se com o ar atmosférico por orifícios denominados **espiráculos**. O ar entra e é levado diretamente às células sem passar para o sangue. O sangue dos insetos não tem, portanto, função respiratória.

Os insetos têm sexos separados e sua fecundação é interna. São animais **ovíparos**, que podem apresentar três tipos de desenvolvimento:

- **direto, sem metamorfose**: desenvolvimento **ametábolo** (*a* = sem; *metábolo* = mudança). Do ovo eclode um jovem semelhante ao adulto. Exemplo: traça-de-livro;

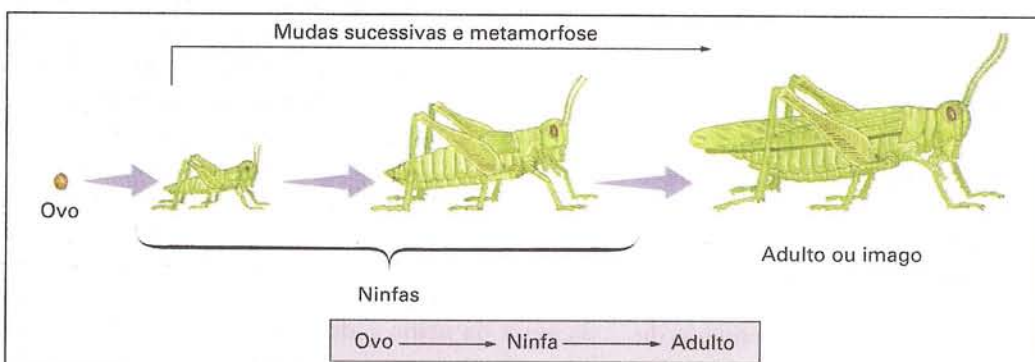


Esquema de traquéia em insetos, baseado em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).



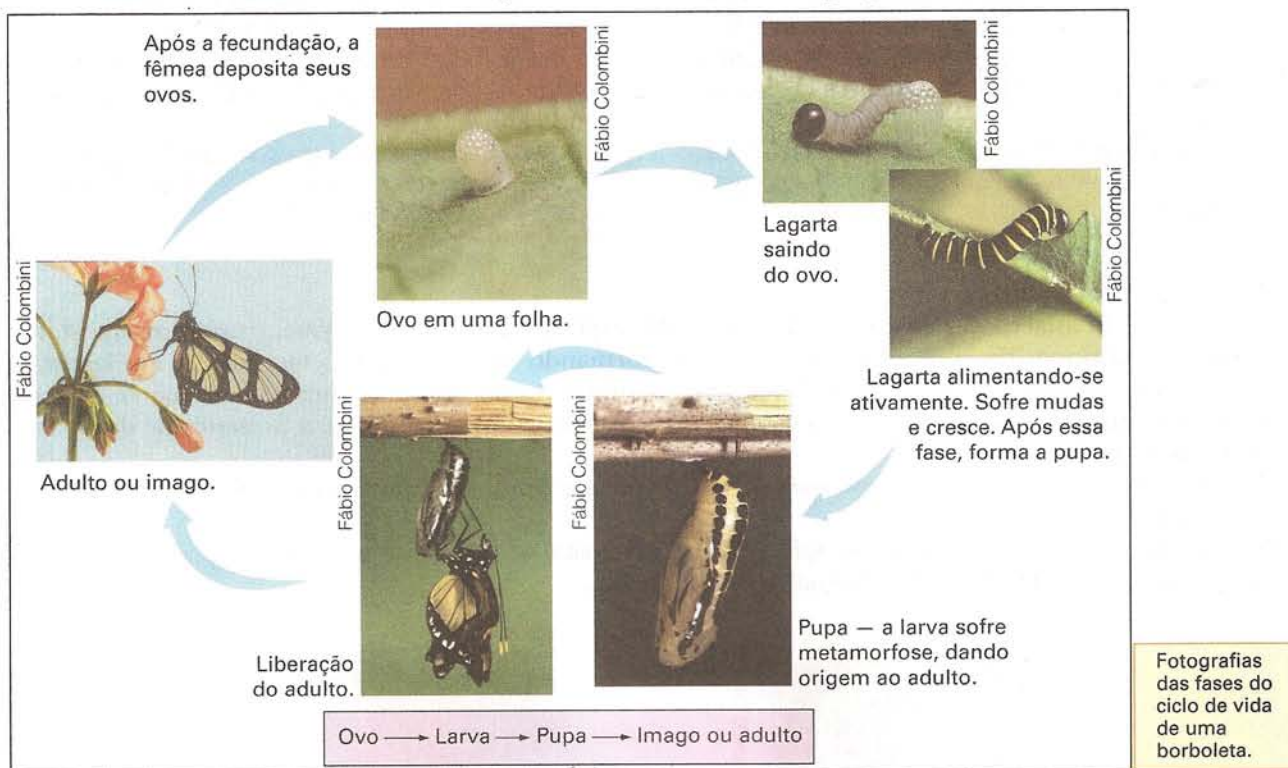
Esquema do desenvolvimento ametábolo na traça-de-livro. O adulto mede cerca de 12 mm de comprimento.

- **indireto, com metamorfose gradual ou incompleta**: desenvolvimento **hemimetábolo** (*hemi* = meio). Do ovo eclode uma forma chamada **ninfa**, que é semelhante ao adulto (ou **imago**), mas não tem asas desenvolvidas. Exemplos: gafanhoto, barata, percevejo;



Esquema do desenvolvimento hemimetábolo no gafanhoto. O adulto mede de 5 mm a 12 cm de comprimento, dependendo da espécie.

- **indireto, com metamorfose completa:** desenvolvimento **holometábolo** (*holo* = total). Do ovo eclode uma **larva**, bastante distinta do adulto e também chamada de **lagarta**. Essa larva passa por um período em que se alimenta ativamente, para depois entrar em um estágio denominado **pupa**, no qual pode haver a formação de um casulo protetor. É no estágio de pupa que ocorre a metamorfose: a larva transforma-se no adulto ou imago, que emerge completamente formado. Depois de adulto, o inseto holometábolo não cresce mais. Exemplos: borboletas, moscas e pulgas.



Alguns insetos holometábolos possuem fase larval aquática, como é o caso de importantes mosquitos vetores de doença. Exemplos: *Culex*, que transmite a filariose, *Anopheles*, que transmite a malária, e *Aedes aegypti*, que transmite a dengue e a febre amarela.

ALGUMAS DAS ORDENS DE INSETOS

- **Ordem Thysanura** (*thysan* = franja; *ura* = cauda; referente aos filamentos com cerdas na extremidade do abdome). Traças-de-livro. Insetos ametábolos; ápteros; corpo achatado dorsoventralmente.
- **Ordem Odonata** (*odonata* = dentes; referente aos dentes das mandíbulas). Libélulas. Insetos hemimetábolos; as ninfas são aquáticas; os adultos têm quatro asas membranosas e antenas diminutas; são predadores.
- **Ordem Blattodea** (*blatta* = barata). Baratas. Insetos hemimetábolos; asas anteriores do tipo tégminas (asas espessas e pergamináceas); corpo achatado dorsoventralmente.
- **Ordem Isoptera** (*iso* = igual; *ptera* = asas; referente ao fato de as asas serem aproximadamente iguais). Cupins. Insetos hemimetábolos.
- **Ordem Orthoptera** (*ortho* = retas; *ptera* = asas). Gafanhotos, esperanças e grilos. Insetos hemimetábolos; asas anteriores do tipo tégminas e

asas posteriores membranosas; asas às vezes reduzidas ou ausentes.

- **Ordem Phasmida** (*phasma* = fantasma). Bichos-pau. Insetos hemimetábolos; asas anteriores reduzidas, do tipo tégminas.
- **Ordem Phthiraptera** (*phthirus* = piolho; *a* = sem; *ptera* = asas). Piolhos. Insetos hemimetábolos; ápteros; ectoparasitas de aves e de mamíferos, inclusive do ser humano. Os piolhos podem transmitir o tifo exantemático para o ser humano.
- **Ordem Heteroptera** (*hetero* = heterogêneo; *ptera* = asas; referente ao fato de as asas anteriores serem hemiélitros). Percevejos-do-mato, percevejos-de-cama e barbeiros. Insetos hemimetábolos; asas anteriores transformadas em hemiélitros (asas espessas na base e membranosas na porção distal).
- **Ordem Homoptera** (*homo* = uniforme; *ptera* = asas; referente às asas anteriores uniformes). Cigarras, cigarrinhas, pulgões e jiquitiranabóias. Insetos hemimetábolos; asas anteriores membranosas ou pergamináceas.

- **Ordem Coleoptera** (*coleo* = estojo; *ptera* = asas; referente aos élitros). Besouros, joaninhas, serra-paus e carunchos. Insetos holometábolos; asas anteriores transformadas em élitros (asas coriáceas, que formam um estojo).
- **Ordem Hymenoptera** (*hymen* = membrana; *ptera* = asas). Abelhas, vespas e formigas. Insetos holometábolos; asas membranosas, as anteriores maiores e unidas às posteriores por diminutos ganchos.
- **Ordem Diptera** (*di* = duas; *ptera* = asas). Moscas e mosquitos. Insetos holometábolos; asas anteriores membranosas, as posteriores modifi-

cadas em halteres. Muitas espécies são parasitas de vários animais, inclusive do ser humano, como a mosca-do-berne.

- **Ordem Siphonaptera** (*siphon* = tubo; *a* = sem; *ptera* = asas). Pulgas e bichos-de-pé. Insetos holometábolos; ápteros. Ectoparasitas de mamíferos, podendo transmitir doenças a vários animais domésticos. A pulga-do-rato pode transmitir a peste bubônica para o ser humano.
- **Ordem Lepidoptera** (*lepido* = escama; *ptera* = asas). Borboletas e mariposas. Insetos holometábolos; quatro asas membranosas.

Subfilo Crustacea

O nome Crustacea deriva do fato de muitas das espécies que compõem esse grupo possuírem um exoesqueleto enriquecido com carbonato de cálcio, formando uma **crosta**. É o que ocorre em lagostas, camarões, siris e caranguejos, os representantes mais conhecidos do grupo. Entretanto, essa não é a característica mais universal do grupo. A característica mais marcante dos crustáceos é a presença de dois pares de antenas na região cefálica.

Os crustáceos possuem representantes aquáticos e de ambientes terrestres úmidos (tatuzinho-de-quintal ou tatu-bola).

Existem representantes macroscópicos, como a lagosta, o camarão e a craca, e representantes microscópicos, como a dáfnia (pulga-d'água) e os copépodes.



Luciano Candisani



Luciano Candisani

Fotografias de siris — último par de pernas adaptado para o nado. Macho: abdome estreito; fêmea: abdome amplo (ver setas). Medem cerca de 8 cm de largura de carapaça.



Luciano Candisani

Fotografia de caranguejo-fantasma ou maria-farinha, comum nas areias das praias do litoral brasileiro. Mede cerca de 6 cm sem as pernas.



Luciano Candisani

Caranguejo — último par de pernas adaptado para andar sobre o substrato. Mede cerca de 8 cm de largura. A espécie aqui ilustrada vive na Ilha Trindade e sobe em coqueiros. Nos manguezais brasileiros também existe uma espécie de caranguejo que sobe em árvores e é chamado de maria-mulata.



Sinclair Stammers/Science Photo Library

Micrografia de microcrustáceo do gênero *Daphnia*, popularmente conhecido por pulga-d'água. Mede cerca de 0,5 mm.



Juarez Silva

Fotografia de tatuzinho-de-quintal ou tatu-bola. Quando ameaçado, ele enrola o corpo. Vive em ambiente terrestre úmido e respira por brânquias. Mede cerca de 1,5 cm de comprimento.

O corpo dos crustáceos pode estar dividido em cabeça, tórax e abdome, ou em cefalotórax e abdome. O cefalotórax corresponde à fusão de dois tagmas: a cabeça e o tórax.

Na cabeça estão presentes, além dos dois pares de antenas, dois olhos compostos, geralmente pedunculados, e, ao redor da boca, um par de mandíbulas e outros apêndices acessórios utilizados na obtenção de alimento.

As pernas dos crustáceos partem do cefalotórax, como ocorre nos siris e caranguejos, ou do cefalotórax e do abdome, como ocorre nos camarões.

A respiração é realizada por meio de **brânquias**, localizadas geralmente na base das pernas.

A excreção é feita pelas **glândulas maxilares** e pelas **glândulas verdes** ou **antenas**.

A maioria dos crustáceos é de sexos separados, embora existam espécies hermafroditas, como

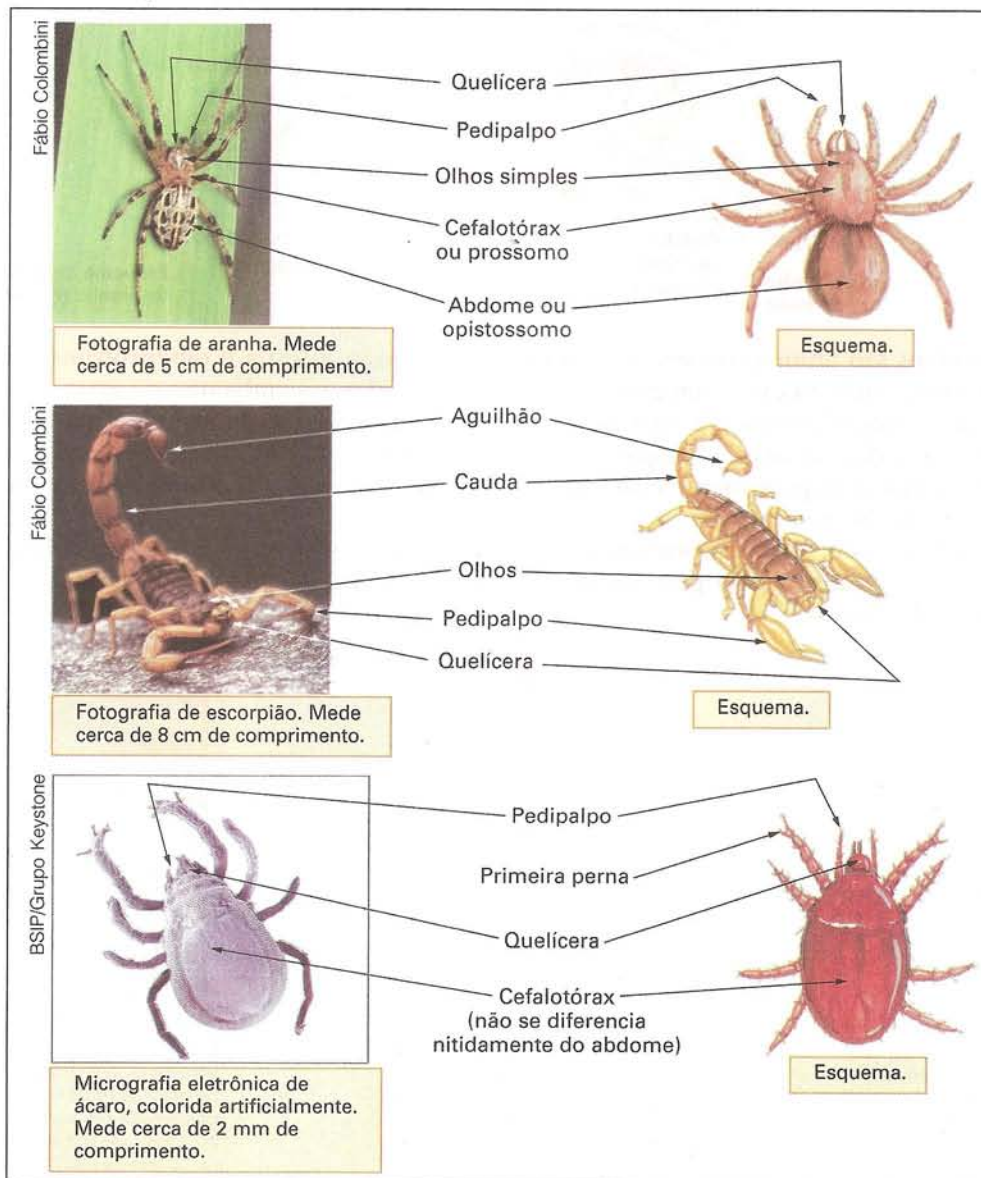
é o caso das cracas. Mesmo nas hermafroditas, a fecundação é cruzada, envolvendo copulação.

Em geral, as fêmeas de crustáceos incubam seus ovos ou em apêndices do corpo (lagostas e caranguejos), ou em sacos ovígeros (copépodes). Na maioria dos casos, o desenvolvimento é indireto, podendo existir mais de um tipo de larva no mesmo ciclo de vida, mas há espécies (lagostim) em que o desenvolvimento é direto.

Classe Arachnida

O grupo Arachnida (aracnídeos) inclui as aranhas, os escorpiões, os ácaros e os carrapatos.

O corpo é geralmente dividido em cefalotórax e abdome. Nos escorpiões, a parte posterior do abdome, chamada cauda, é mais estreita. Na extremidade da cauda existe um **aguiilhão** que abriga o veneno. Nos ácaros, não se percebe a divisão entre o cefalotórax e o abdome, que formam uma estrutura única.



Os aracnídeos não possuem antenas nem mandíbulas. Eles possuem, como estrutura envolvida com a manipulação do alimento, as **quelíceras**.

Além de quelíceras, os aracnídeos possuem, ao redor da boca, um par de **pedipalpos**, estrutura que pode atuar como órgão sensorial ou órgão de cópula no macho.

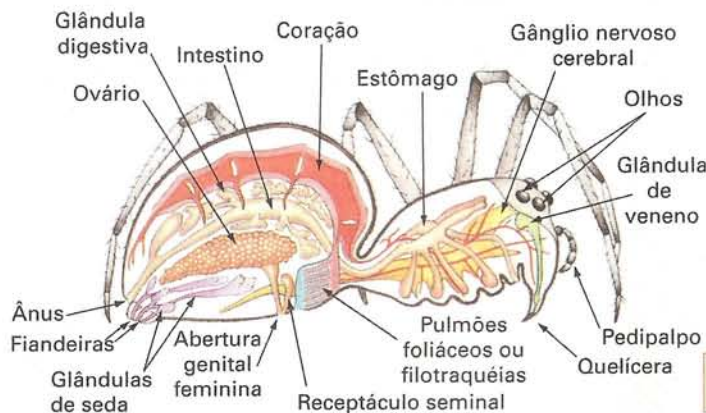
Outra característica importante dos aracnídeos é a presença de quatro pares de pernas no cefalotórax. O abdome não contém apêndices locomotores. Na região posterior e ventral do abdome das aranhas existem as **fiandeiras**, estruturas associadas a glândulas de seda, que produzem os fios de seda com os quais elas tecem as teias.

Ao contrário dos insetos e crustáceos, que pos-

suem olhos compostos, os aracnídeos possuem apenas **olhos simples**.

A respiração nos aracnídeos é feita por **filotraquéias**, também denominadas “pulmões foliáceos”. Essas estruturas são formadas por lamelas irrigadas, que se comunicam com o exterior do corpo por meio de um orifício denominado **estigma**. As trocas gasosas ocorrem nas lamelas, e o oxigênio passa para o sangue. Nos escorpiões, essas são as únicas estruturas respiratórias, mas nas aranhas, além das filotraquéias, existem as **traquéias**, semelhantes às dos insetos.

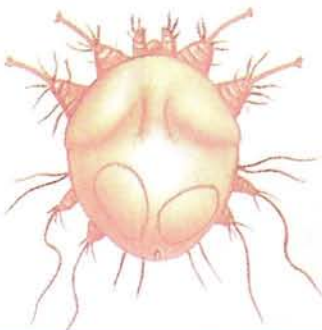
A excreção é feita por **túbulos de Malpighi** semelhantes aos dos insetos e também por glândulas localizadas na base das pernas, denominadas **glândulas coxais**.



Esquema da anatomia interna de aranha (cores-fantasia).

Os aracnídeos são animais de sexos separados, fecundação interna e desenvolvimento direto. São artrópodes terrestres, embora exista um grupo de ácaros adaptados aos ambientes de água doce e marinho. A maioria dos aracnídeos é predadora, mas há dentre eles ácaros parasitas de plantas e outros de animais. É o caso do ácaro causador da sarna (*Sarcoptes scabiei*), do ácaro parasita dos folículos pilosos e das glândulas sebáceas do ser humano, popularmente chamado de cravo como a espécie *Demodex folliculorum*, e dos carrapatos, como o gênero *Dermacentor*.

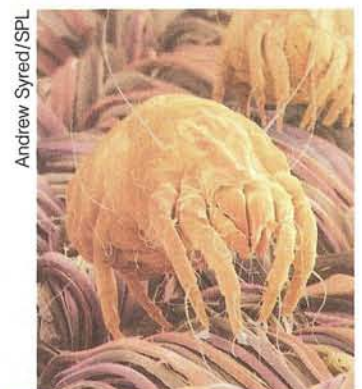
No grupo dos ácaros, estão também algumas formas diminutas. Dentre eles, a espécie *Dermatophagoides farinae*, que pode ser transportada pelo vento, é uma das principais causas das alergias respiratórias a “poeira” nos seres humanos.



Esquema do ácaro da sarna: *Sarcoptes scabiei*. Mede 0,5 mm de comprimento (cor-fantasia).



Esquema de ácaro que pode ocorrer em folículos pilosos: *Demodex folliculorum* (vista ventral). Mede 0,23 mm de comprimento (cor-fantasia).



Andrew Syred/SPL

Micrografia eletrônica de varredura, colorida artificialmente, de um dos tipos de ácaro causador de alergias respiratórias no ser humano: *Dermatophagoides*. Mede cerca de 420 µm de comprimento.

Classes Chilopoda e Diplopoda

Esses animais possuem muitas pernas articuladas e podem ser coletivamente chamados **miriápodes**, termo que não tem valor taxonômico.

Os quilópodes e os diplópodes têm o corpo dividido em cabeça e tronco e apresentam um par de antenas e olhos simples.

Os Chilopoda apresentam um par de pernas por segmento, sendo o primeiro par transformado em uma estrutura denominada **forcípula**, na extremidade da qual se abre uma glândula de veneno. Esses animais são carnívoros predadores e se utilizam do veneno para imobilizar suas presas. São vulgarmente conhecidos por **centopéias**.

Os Diplopoda são animais herbívoros e detritívoros, e não possuem forcípula. Possuem dois pares de pernas por segmento. São vulgarmente conhecidos como **piolhos-de-cobra**.



Juarez Silva

Fotografia de quilópode (centopéia ou lacaia). Mede cerca de 10 cm de comprimento.



Juarez Silva

Fotografia de diplópode (piolho-de-cobra). Mede cerca de 8 cm de comprimento.

Quanto à estrutura interna, os Chilopoda e os Diplopoda são muito semelhantes: possuem tubo digestório com boca e ânus, sistema excretor formado por túbulos de Malpighi, sistema respiratório formado por traquéias e sistema circulatório aberto. São animais dióicos, com desenvolvimento direto ou indireto.

2. Filo Echinodermata

Os equinodermos são animais triblásticos e celomados com características que os aproximam dos cordados por serem deuterostômios.

Os equinodermos possuem “espinhos na pele”, característica que deu nome ao filo (*echinos* = espinhos; *derma* = pele). Em alguns, como o pepino-do-mar, os espinhos são atrofiados; em outros, como o ouriço-do-mar, são fortes e bem desenvolvidos.



Luciano Candisani

Fotografia de uma das espécies de pepino-do-mar que ocorre no litoral brasileiro. Mede cerca de 15 cm de comprimento.



Álvaro E. Migotto

Fotografia de ouriço-do-mar: ocorre no litoral brasileiro e mede cerca de 7 cm de diâmetro.

Os equinodermos têm simetria primária (simetria da larva) bilateral e simetria secundária (simetria do adulto) radiada, organizada com base em cinco raios; diz-se, por isso, que a simetria é **pentarradial**. São exclusivamente marinhos.

São animais de sexos separados, sem dimorfismo sexual (não se distingue externamente o macho da fêmea). A fecundação é externa e o desenvolvimento, indireto, passa por estágios larvais.

As gônadas dos ouriços-do-mar são muito apreciadas como alimento pelo ser humano, que as come ao natural, sem cozinhar.

Muitos equinodermos apresentam grande capacidade de regeneração. Uma estrela-do-mar que tenha perdido um ou mais braços consegue regenerá-los. Um braço isolado de estrela-do-mar e que ainda retenha parte do disco central pode regenerar uma estrela inteira.



Luciano Candisani

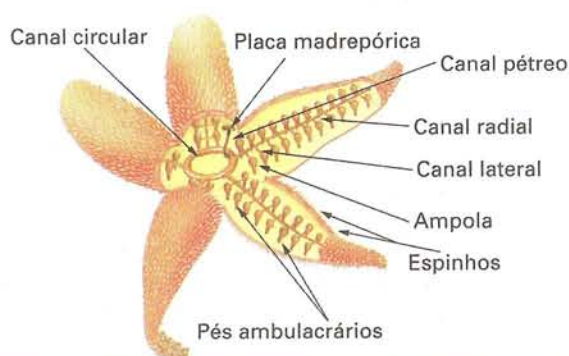
Fotografia de uma estrela-do-mar em processo de regeneração de um braço. Mede cerca de 10 cm, considerando-se os braços.

Nos equinodermos representados pelas estrelas-do-mar e pelo ouriço-do-mar, distinguimos uma região oral, onde se situa a boca, e uma região aboral, onde se situa o ânus, oposta à boca. Em outros representantes do grupo há variação na posição relativa de ânus e boca, como veremos a seguir.

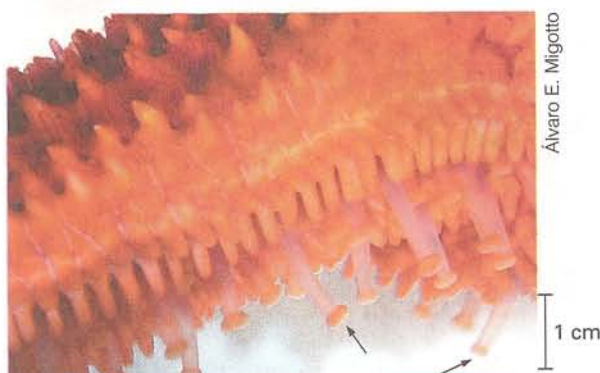
Os equinodermos possuem um sistema exclusivo, relacionado basicamente com a locomoção: o **sistema ambulacrário** ou **hidrovascular**.

Nesse sistema há uma placa madreporica, situada na região aboral, que permanece em contato com o meio externo. A água penetra pela placa madreporica, que é perfurada, passa para o canal pétreo e chega ao canal circular, de onde é distribuída pelos canais radiais às ampolas e aos pés ambulacrários. Todos esses canais são de estrutura calcária e, portanto, rígida. As ampolas e os pés ambulacrários são musculares. A contração das ampolas empurra a água para os pés ambulacrários, que se alongam e se fixam ao substrato como ventosas. A seguir, a musculatura do pé sofre contração, a musculatura da ampola sofre relaxamento e os pés re-

traem-se. Essa sequência é a responsável pela locomoção do animal.



Esquema de estrela-do-mar em vista dorsal, com o esqueleto parcialmente removido para mostrar as estruturas internas do sistema ambulacrário (cores-fantasia).



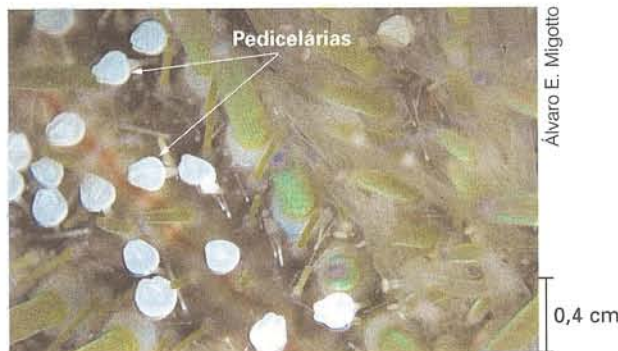
Álvaro E. Migotto

Fotografia de detalhe de estrela-do-mar, mostrando pés ambulacrários (setas).

Nos ouriços-do-mar, os espinhos são longos e móveis, participando da locomoção.

Na superfície do corpo de muitos equinodermos existem, além de espinhos, as **pedicelárias**: pequenas estruturas que possuem geralmente um pedúnculo, na extremidade do qual existem peças que se articulam como uma pinça.

As pedicelárias têm por função remover detritos e fragmentos que se depositem sobre o animal. Em algumas espécies existem pedicelárias associadas a glândulas de veneno, servindo como defesa para o animal.



Álvaro E. Migotto

Fotografia de pedicelárias de ouriço-do-mar.

Projeções em formas de papilas (**pápulas**) da parede do celoma para fora do corpo têm por função a respiração e a excreção.

2.1. As classes de equinodermos

Tradicionalmente os equinodermos têm sido divididos em cinco classes, que podem ser caracterizadas com base na estrutura externa do corpo, como mostra resumidamente a tabela seguinte:

Classe Asteroidea

Os animais dessa classe possuem, como regra geral, cinco braços que partem de um disco central, sem nítida separação entre essas estruturas. São as estrelas-do-mar.



Álvaro E. Migotto

Fotografia de estrela-do-mar: mede cerca de 10 cm de diâmetro.

Classe Echinoidea

Corpo arredondado (ouriço-do-mar) ou achatado (bolacha-da-praia). Na boca, os equinóides apresentam cinco dentes calcários fortes, que formam uma estrutura denominada **lanterna-de-aristóteles**. Esta é usada para arrancar pedaços de algas, dos quais esses animais se alimentam.



Fábio Colombini/Kino.com.br

Fotografia de bolacha-da-praia: mede cerca de 8 cm de diâmetro.

Classe Ophiuroidea

Disco central nitidamente separado dos cinco braços, que são finos e muito ágeis. Os ofiuróides não possuem ânus. São conhecidos por estrelas-serpentes ou serpentes-do-mar.



Luciano Candisani

Fotografia de serpente-do-mar: mede cerca de 5 cm de diâmetro, incluindo os braços.

Classe Crinoidea

Os crinóideos vivem fixos ao substrato pela região aboral, tendo o ânus deslocado para a região oral. São os lírios-do-mar.



Luciano Candisani

Fotografia de lírio-do-mar: mede cerca de 15 cm de diâmetro, incluindo os braços.

Classe Holoturoidea

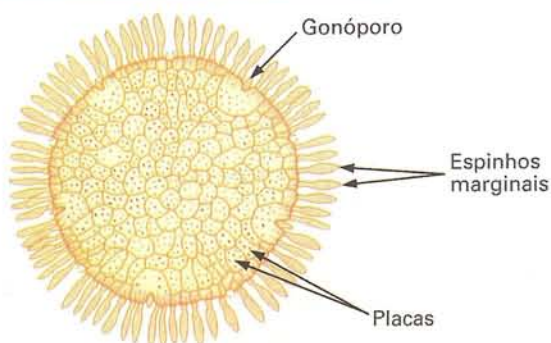
Corpo alongado e espinhos reduzidos. Os holoturóideos possuem no interior do corpo uma estrutura especial chamada **árvore respiratória**, relacionada com as trocas gasosas. São os pepinos-do-mar.



Luciano Candisani

Fotografia de pepino-do-mar: mede cerca de 10 cm de comprimento.

Entre 1983 e 1984, indivíduos arredondados medindo cerca de 2 a 9 mm de diâmetro foram coletados a cerca de mil metros de profundidade no mar, na região da Nova Zelândia, e, anos mais tarde, foram encontrados indivíduos semelhantes em águas profundas do mar do Caribe. Hoje se sabe que são duas espécies distintas de equinodermos e que elas não pertencem a nenhuma das classes já conhecidas desse filo. Assim, uma nova classe foi descrita para elas: a classe **Concentricycloidea**. Pouco se sabe ainda sobre a biologia desses diminutos animais marinhos de profundidade.



Esquema, em vista dorsal, de *Xyloplax medusiformis*, uma das duas espécies da classe Concentricycloidea. Mede de 2 a 9 mm de diâmetro (cor-fantasia).

Evisceração em pepino-do-mar

Os pepinos-do-mar apresentam um mecanismo de defesa bastante curioso: a **evisceração**. Quando muito molestados por um predador, eles eliminam suas vísceras através da cloaca. Com isso, conseguem distrair a atenção do predador, que se satisfaz comendo as vísceras eliminadas. Depois de algum tempo, o pepino-do-mar consegue regenerar as vísceras perdidas.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Explique as principais características dos artrópodes quanto:

- ao esqueleto;
- ao sistema circulatório;
- ao sistema excretor.

2. Compare os artrópodes com os moluscos e os anelídeos em relação aos três itens da questão anterior.

5. Construa uma tabela comparativa dos grupos de artrópodes, com os dados sugeridos a seguir:

Grupo	Divisão do corpo	Nº de pernas	Nº de antenas	Quelíceras e pedipalpos	Mandíbulas	Sistema excretor	Sistema respiratório	Reprodução

6. Cite o nome e a função das estruturas sensoriais presentes na cabeça dos insetos.

7. Explique os termos ametábolo, hemimetábolo e holometábolo e dê exemplos.

8. Comente sobre o tipo de excreta nitrogenada que ocorre nos insetos e sua relação com o modo de vida desses animais.

9. Cite as estruturas sensoriais presentes na cabeça ou no cefalotórax dos crustáceos.

10. Explique as funções dos pedipalpos e das quelíceras dos aracnídeos.

11. Compare os tipos de olhos dos insetos, dos crustáceos e dos aracnídeos.

3. Compare o exoesqueleto dos moluscos (como os bivalves e os gastrópodes) com o exoesqueleto dos artrópodes, quanto à composição química e ao modo como o exoesqueleto participa do crescimento desses animais.

4. Cite o nome do único grupo de invertebrados com representantes adaptados ao voo.

12. Cite exemplos de aracnídeos parasitas.

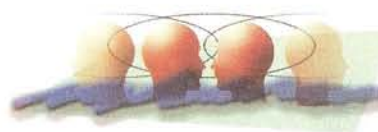
13. Cite as características gerais dos equinodermos e diga em que eles se aproximam evolutivamente dos cordados (grupo que inclui os vertebrados).

14. Explique a estrutura e o funcionamento do sistema ambulacrário dos equinodermos.

15. Cite e caracterize as classes de equinodermos. Dê exemplos para cada classe.

16. Explique como ocorre a reprodução dos equinodermos.

17. Com relação à excreção, compare as estruturas envolvidas com esse processo nos platelmintos, nematódeos, moluscos, anelídeos e insetos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Principais aranhas e escorpiões de interesse médico

Além dos animais que são parasitas do ser humano e que causam doenças, existem outros de interesse médico que não parasitam o nosso corpo. São predadores de outros animais e podem representar perigo para nós, especialmente no caso de animais peçonhentos. O contato com eles deve ser evitado, pois estaremos nos poupando de um eventual acidente.

Vamos falar aqui um pouco sobre as principais aranhas e escorpiões de interesse médico que ocorrem no Brasil.

Aranhas

As principais espécies de aranha perigosas para o ser humano pertencem a três gêneros: *Phoneutria*, *Loxosceles* e *Latrodectus*. Aranhas de espécies pertencentes a outros gêneros podem picar o ser humano, mas a consequência é geralmente apenas uma forte dor local.

As espécies do gênero *Phoneutria* são conhecidas como **aranhas-armadeiras**, pois, quando se sentem ameaçadas, apóiam-se nos dois pares de pernas traseiras, erguem o restante do corpo e “armam” o ataque. Elas são muito rápidas e agressivas. Essas aranhas têm hábitos noturnos, não formam teias e o veneno delas tem ação neurotóxica e cardiotóxica. O tratamento do doente pode ser feito com soro específico.



Juarez Silva

Fotografia de aranha-armadeira (*Phoneutria* sp), medindo cerca de 7 cm de comprimento.

As espécies do gênero *Loxosceles* são conhecidas como **aranhas-marrons**, pois apresentam um

colorido marrom uniforme. Elas têm hábitos noturnos, não são agressivas e formam teias irregulares, construídas em locais escuros. O veneno dessas aranhas tem ação necrosante e hemolítica e o tratamento do doente é feito com soro antiloxoscélico.



Fábio Colombini

Fotografia de aranha-marrom (*Loxosceles* sp), medindo cerca de 4 cm de comprimento.

No gênero *Latrodectus*, são as fêmeas que podem ser perigosas para os humanos. Elas são chamadas **viúvas-negras**. Têm hábitos noturnos e constroem teias irregulares.

O veneno tem ação neurotóxica e, como o número de acidentes por *Latrodectus* é muito pequeno no Brasil, não há produção de soro anti-*Latrodectus*.



Fábio Colombini

Fotografia de viúva-negra (*Latrodectus*), medindo cerca de 3 cm de comprimento.

Escorpiões

Os escorpiões são animais carnívoros de hábitos noturnos. Os que podem causar perigo para o ser humano no Brasil são o *Tityus bahiensis*, ou **escorpião-marrom**, e o *Tityus serrulatus*, ou **escorpião-amarelo**. O veneno tem ação neurotóxica. O tratamento do doente deve ser feito com soro antiescorpiônico.



Juarez Silva

Fotografia de escorpião-marrom (*Tityus bahiensis*), medindo cerca de 12 cm de comprimento.



Juarez Silva

Fotografia de escorpião-amarelo (*Tityus serrulatus*), medindo cerca de 8 cm de comprimento.

Controle e prevenção de acidentes com aranhas e escorpiões

O controle e a prevenção de acidentes com aranhas e escorpiões podem ser feitos tomando-se os seguintes cuidados:

- manter limpos quintais, jardins e terrenos baldios, não acumulando neles entulho e lixo doméstico;
- aparar a grama dos jardins e recolher as folhas caídas;
- vedar soleiras de portas com saquinhos de areia ou friso de borracha;
- colocar telas nas janelas;
- vedar ralos de pia, de tanque e de chão com tela ou válvula apropriada;
- colocar lixo em sacos plásticos e mantê-los bem fechados para não atrair baratas, moscas e outros insetos, que são o alimento predileto de aranhas e escorpiões;
- examinar roupas, calçados, toalhas e roupas de cama antes de usá-los;

- andar sempre calçado e usar luvas de raspa de couro ao trabalhar com material de construção.

O uso de inseticida contra aranhas e escorpiões não é indicado, pois ele tem efeito apenas temporário e é tóxico para os seres humanos. Devemos lembrar ainda que aranhas e escorpiões não são insetos.

Em caso de picada por aranha ou por escorpião, principalmente se o acidentado for uma criança menor de 7 anos, procurar socorro médico imediato, levando, se possível, o animal que a picou, para ser identificado. As aranhas e os escorpiões podem ser colocados, com extremo cuidado, para que não piquem a pessoa que os manipula, em frascos com tampa furada, contendo algodão ou pano umedecido com água.

Grande parte das informações contidas neste texto extraídas de: Bruno Soerensen (coord.). *Animais peçonhentos: reconhecimento e distribuição geográfica*. Rio de Janeiro: Atheneu, 1990; e de folhetos distribuídos à população pelo Instituto Butantã de São Paulo.

- Construa um cartaz com as principais aranhas e escorpiões de interesse médico no Brasil, coloque figuras e as seguintes informações resumidas:

Gênero e nome vulgar	Local onde ocorrem	Tipo de ação do veneno	Tratamento

Em seguida, elabore um texto com as principais medidas que se devem tomar para prevenir acidentes com esses animais.



TESTES

1. (UFF-RJ) “Durante dois meses, 80 milhões de caranguejos invadem a Ilha Christmas, território australiano, no Oceano Índico. Ocupam estradas, devoram a vegetação e entram nas casas. Parece pesadelo, mas não é.” (*Superinteressante*, jul. 1999.)

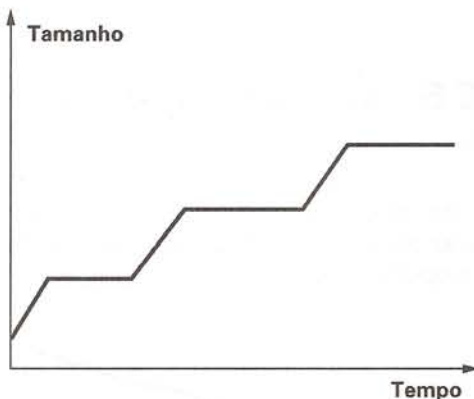
Pode-se afirmar que, em sua grande maioria, os caranguejos apresentam respiração:

- a) pulmonar.
- b) traqueal.
- c) cutânea.
- d) branquial.
- e) traqueopulmonar.

2. (UFPI) Quais dos seguintes animais estão filogeneticamente mais relacionados às aranhas?

- a) Caramujos.
- b) Tatuzinhos-de-jardim.
- c) Escorpiões.
- d) Mosquitos.
- e) Abelhas.

3. (PUC-MG) Observe o gráfico abaixo. Ele representa a taxa de crescimento de um animal em relação ao tempo:



Com base no gráfico, você diria que esse animal é um:

- a) aracnídeo.
- b) gastrópodo.
- c) condríctio.
- d) ciclóstomo.
- e) bivalvo.

4. (Cefet-MG) Os artrópodes que apresentam o corpo dividido em cefalotórax e abdome, 4 pares de pernas e ausência de antenas estão representados pelos:

- a) insetos.
- b) aracnídeos.
- c) crustáceos.
- d) diplópodes.
- e) quilópodes.

5. (MACK-SP) Indique a alternativa que apresenta uma característica **não** pertencente aos insetos.

- a) Celomados.
- b) Sistema respiratório traqueal.
- c) Triblásticos.
- d) Sistema circulatório fechado.
- e) Sistema excretor por túbulos de Malpighi.

6. (UFRS) Os animais conhecidos popularmente como “tatuíras”, comuns nas praias do litoral gaúcho, pertencem ao grupo dos Crustáceos. Indique a alternativa que apresenta somente animais que fazem parte deste grupo taxonômico.

- a) Ostra — caramujo — lula.
- b) Siri — tatuzinho-de-jardim — camarão.
- c) Craca — lagostim — marisco.
- d) Centopéia — mexilhão — lacraia.
- e) Ouriço-do-mar — caranguejo — anêmona.

7. (UEPA) “Os manguezais foram declarados áreas de preservação permanente pela Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965. Os manguezais paraenses, localizados no município de Bragança e ao norte da Ilha de Caratateua, são fundamentais para o equilíbrio ecológico do litoral paraense, pois muitos animais, como o camarão branco, põem seus ovos no mar e os filhotes penetram no manguezal, onde se alimentam, crescem e então voltam para o mar. Do mangue o homem retira seu alimento: caranguejo, peixes e moluscos. É necessário, portanto, proteger os manguezais contra a destruição, caso contrário, destrói-se a fonte de alimento para o homem e a área de proteção de muitas espécies.” (Adaptado de: *Nosso Pará — O homem e a natureza*.)

Nos crustáceos e moluscos a excreção é realizada respectivamente por:

- a) glândulas coxais e metanefrídios.
- b) metanefrídios e glândulas verdes.
- c) glândulas verdes e metanefrídios.
- d) glândulas verdes e túbulos de Malpighi.
- e) túbulos de Malpighi e metanefrídios.

8. (UFU-MG) Com relação aos artrópodes, indique a alternativa correta.

- a) Os diplópodos ou piolhos-de-cobra possuem duas pernas por segmento, aparelho bucal picador sugador e não têm antenas.
- b) Os crustáceos possuem o corpo dividido em cabeça, cefalotórax e abdome. Possuem um par de antenas na cabeça e um par de pernas em cada segmento do cefalotórax e do abdome.
- c) Os aracnídeos possuem o corpo dividido em cefalotórax e abdome, oito pares de pernas no cefalotórax e um par de antenas diminutas. Não possuem asas.
- d) Os insetos possuem o corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. Há três pares de pernas no tórax, onde pode ou não haver asas, e um par de antenas na cabeça.

9. (PUC-RS) Dos ovos postos, após a eclosão, saem formas parecidas com os adultos, diferenciando-se apenas pela ausência de asas, pela coloração do corpo, tamanho e sistema reprodutor que ainda não se acha desenvolvido. Essas formas que saem dos ovos são chamadas ninfas e, se forem aquáticas, náíades. Elas mudam de pele várias vezes e os caracteres do adulto vão progressivamente tomando forma. Isto ocorre, por exemplo, em gafanhotos e baratas.

A descrição acima aplica-se ao estudo do desenvolvimento dos insetos:

- a) holometábolos.
- b) anisometábolos.
- c) ametábolos.
- d) isometábolos.
- e) hemimetábolos.

10. (Unesp-SP) Existem nos filos animais estruturas que os caracterizam e os identificam. Coanócitos, cnidoblastos, células-flama ou solenócitos, sistema ambulacrário e rádula são algumas estruturas encontradas, respectivamente, em:

- a) platelmintos, celenterados, poríferos, equinodermos e moluscos.

- b) poríferos, celenterados, equinodermos, platelmintos e moluscos.
- c) poríferos, celenterados, platelmintos, equinodermos e moluscos.
- d) poríferos, celenterados, platelmintos, moluscos e equinodermos.
- e) equinodermos, moluscos, poríferos, celenterados e platelmintos.

11. (PUC-RS) "Todo o sistema hidrovascular está preenchido por um líquido similar à água do mar, exceto pelo fato de que apresenta alguns tipos celulares, proteínas e um alto conteúdo de íons potássio. Quando o animal se locomove, esse sistema opera como um sistema hidráulico e a contração da ampola determina o alongamento do pé ambulacrário. Quando ele entra em contato com o substrato, o centro da ventosa terminal retrai-se, produzindo vácuo e adesão. Sabe-se que a ponta do pé ambulacrário elabora uma secreção que contribui para a adesão."

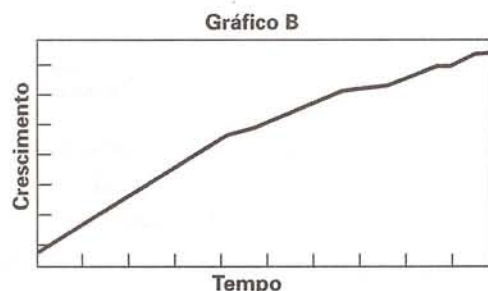
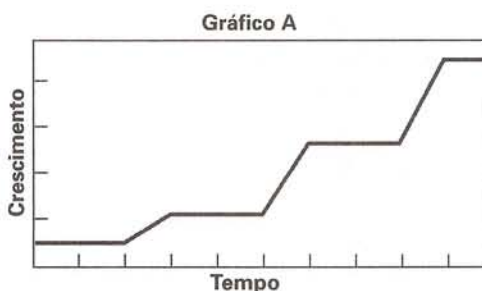
O tipo de locomoção descrito acima é encontrado em:

- a) estrela-do-mar.
- b) caracol.
- c) minhoca.
- d) hidra.
- e) piolho-de-cobra.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFU-MG) Os gráficos representam o tipo de desenvolvimento de dois grandes grupos animais até atingirem a fase adulta. Explique o porquê das diferenças entre os gráficos e indique duas classes de animais que possam ter um desenvolvimento correspondente ao apresentado por cada um dos gráficos, respectivamente.



2. (UFCE) O conhecimento dos artrópodes é de grande importância médica. Mencione 2 razões que apoiem esta afirmativa e cite pelo menos duas classes de artrópodes envolvidos em problemas de saúde humana.

3. (Fuvest-SP) A tabela a seguir reúne algumas características de quatro animais não-cordados: A, B, C e D.

Animal	Sistema digestivo	Sistema circulatório	Sistema respiratório	Sistema excretor	Hábitat
A	Incompleto	Ausente	Ausente	Solenócito	Aquático
B	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Aquático
C	Completo	Aberto	Traqueal	Túbulo de Malpighi	Terrestre
D	Completo	Fechado	Ausente	Nefrídio	Terrestre

Quais podem ser, respectivamente, os animais A, B, C e D?

4. (Unicamp-SP — mod.) Numa excursão à praia foram coletados alguns organismos que foram colocados em sacos plásticos e identificados como: esponjas, cracas, gastrópodes, mexilhões (bivalves), ouriços-do-mar, caranguejos e estrelas-do-mar.

a) Organize os animais coletados por filos.

b) Além dessa organização por filo, os animais podem ser classificados pela mobilidade (os fixos e os que se deslocam) ou pelo seu principal modo de obter o alimento (filtradores, predadores e herbívoros). Organize-os segundo a mobilidade e, depois, segundo o modo de obter alimentação.

5. (Unifesp-EPM) Os quadrinhos retirados da *Folha de S. Paulo* (03.10.2001) fazem referência ao exoesqueleto.

NÍQUEL NÁUSEA — Fernando Gonsales



a) O exoesqueleto é uma característica exclusiva dos insetos? Justifique.

b) Cite uma vantagem e uma desvantagem adaptativa decorrentes da presença do exoesqueleto.

6. (Unicamp-SP) Os invertebrados como, por exemplo, borboletas, planárias, esponjas, minhocas, baratas, hidras e estrelas-do-mar podem ser agrupados de acordo com características relativas à excreção.

a) Dentre os animais citados, quais não apresentam estruturas especializadas para a excreção? Explique como é realizada a excreção nestes casos.

b) Os Túbulos de Malpighi têm função excretora. Indique em quais dos animais citados eles ocorrem e explique o mecanismo de excreção nestes animais.



Chordata I

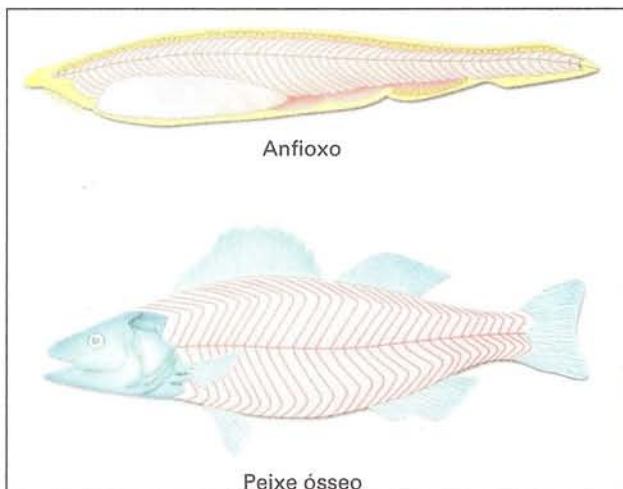
1. Características gerais dos cordados

Na evolução dos deuterostômios, uma linhagem derivou para o grupo dos equinodermos, representados pela estrela-do-mar, e outra derivou para o grupo dos cordados, representados pelos anfioxos e pelos vertebrados.

Na evolução dos cordados surgiu a metameria, evento que também ocorreu na linhagem evolutiva dos protostômios e que deu origem aos anelídeos e aos artrópodes.

A metameria, apesar de ser um processo de segmentação do corpo que ocorre durante o desenvolvimento do embrião e que envolve o mesoderma, persiste em diferentes graus no adulto, sendo mais evidente em algumas estruturas do corpo do que em outras.

No caso dos cordados, um exemplo de estrutura do corpo do adulto em que a metameria é evidente é a musculatura do tronco, organizada em **miótomos** (*mio* = musculatura; *tomo* = divisão) ou blocos musculares metamericamente dispostos ao longo do corpo. A contração alternada desses músculos de um lado e outro do corpo promove um movimento lateral, que impulsiona o animal para a frente. Esse tipo de locomoção por ondulação lateral é típico nos cordados com características mais primitivas.



Existem, entretanto, outras características que são exclusivas dos cordados. Elas surgem durante o desenvolvimento do embrião e podem ou não persistir nos adultos:

- **notocorda:** estrutura que deriva do mesoderma do embrião e que corresponde a um bastonete maciço, flexível, situado na linha mediana dorsal do corpo;
- **sistema nervoso dorsal:** o sistema nervoso dos cordados origina-se de invaginação do ectoderma dorsal do embrião, formando um tubo nervoso oco. Nos animais não-cordados, o sistema nervoso também é de origem ectodérmica, porém não se forma dessa maneira e é de posição ventral ou difusa;
- **fendas faringianas** (ou **fendas faríngeas**): fendas que surgem nas laterais da faringe durante o desenvolvimento do embrião e que podem persistir no adulto;
- **cauda pós-anal musculosa:** a cauda é um prolongamento do corpo posterior ao ânus e tipicamente contém musculatura esquelética metamérica semelhante à do tronco e que também contribui primitivamente para a locomoção por ondulação lateral do corpo.

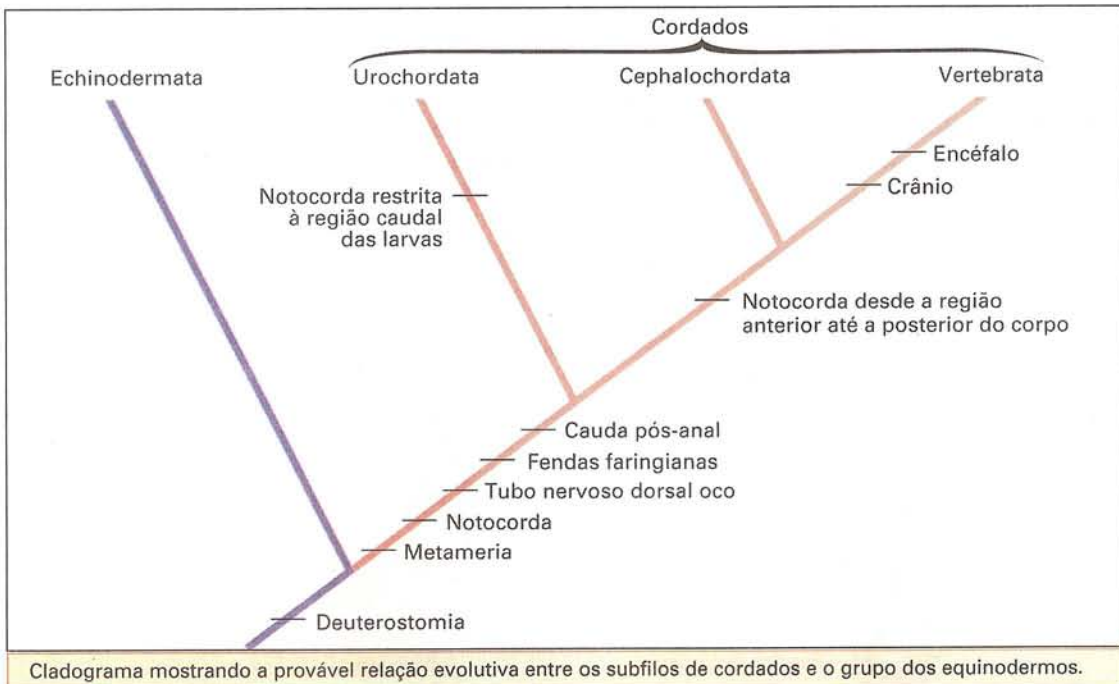
Os cordados são classificados em três subfilos: **Urochordata** (urocordados), **Cephalochordata** (cefalocordados) e **Vertebrata** (vertebrados).

Os **urocordados** e os **cefalocordados** são também chamados de **protocordados** (*proto* = primeiro), pois existem evidências de que tenham sido os primeiros cordados a surgir. Dentre os protocordados, os urocordados são os que apresentam as características consideradas mais primitivas no grupo.

Acredita-se que os vertebrados tenham se originado de um ancestral comum que também teria

Esquema da disposição dos miótomos após a remoção da pele em dois representantes de cordados. O anfioxo mede cerca de 6 cm de comprimento e o peixe, cerca de 30 cm de comprimento (cores-fantasia).

dado origem aos cefalocordados, como mostra o cladograma a seguir:



Os protocordados não possuem crânio nem vértebras. São cordados invertebrados.

Os vertebrados possuem crânio, e a maioria deles possui vértebras, que compõem um endoesqueleto axial (*axial* = eixo). A notocorda desaparece total ou parcialmente durante o desenvolvimento embrionário, sendo substituída pela coluna vertebral (a notocorda **não** dá origem à coluna vertebral). As vértebras surgem a partir do mesoderma embrionário e dispõem-se de modo a proteger o tubo neural.

Embora o nome Vertebrata derive da presença de vértebras, essa não é a característica compartilhada por todos os representantes do grupo. O crânio surgiu evolutivamente antes das vértebras, e por isso alguns preferem o termo **Craniata** em vez de

Vertebrata. Os “peixes” primitivos, como é o caso das feiticieiras, não possuem vértebras, mas possuem crânio, embora muito rudimentar.

O crânio protege a extremidade anterior do tubo neural, que, nos vertebrados, se desenvolve muito, originando o **encéfalo**, primitivamente formado por três partes ocas, cujas cavidades se comunicam entre si e com o tubo neural: a anterior, relacionada com o olfato; a mediana, com a visão; e a posterior, com o equilíbrio. A esse encéfalo estão associados órgãos dos sentidos especializados, representados pelos **olhos**, **ouvidos** e **fossas nasais**.

Agora, vamos conhecer um pouco sobre cada um desses grupos de cordados e analisar uma das hipóteses sobre como eles evoluíram.

2. Subfilo Urochordata

Os urocordados recebem esse nome porque possuem notocorda na região caudal das larvas (*uro* = cauda). Dependendo do grupo de Urochordata, a notocorda persiste ou não nos adultos.

Os representantes mais conhecidos entre os urocordados são as **ascídias**, que não possuem notocorda na fase adulta. Será nesse grupo de urocordados que deteremos nossa atenção.

As ascídias são comuns nos costões rochosos dos mares, existindo espécies solitárias e espécies coloniais. Uma das espécies solitárias comum no litoral brasileiro é a ascídia negra, representada na foto ao lado.



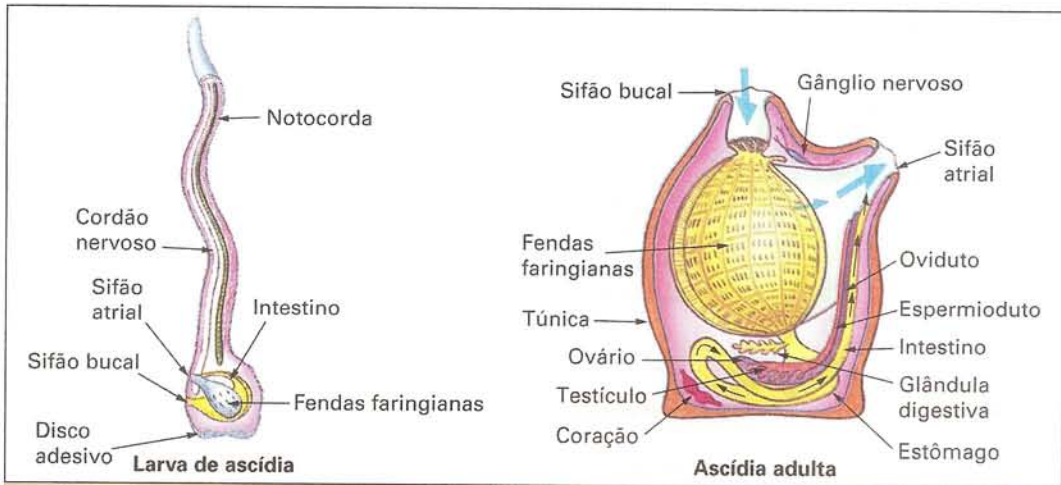
Fábio Colombini

Fotografia de ascídia solitária: mede cerca de 10 cm de altura.

Os urocordados são também denominados **tunicados**, por possuírem uma túnica resistente revestindo o corpo. Essa túnica é formada por um carboidrato semelhante à celulose: a **tunicina**.

Em geral os urocordados são hermafroditas, mas possuem mecanismos que dificultam a autofecundação.

Os óvulos e os espermatozoides são liberados na água, onde ocorre a fecundação. Depois do desenvolvimento embrionário, surge uma larva livre-natante que reúne todas as características dos cordados, apresentando, no entanto, notocorda restrita apenas à região da cauda. Após uma vida planctônica, a larva fixa-se a um substrato, sofre metamorfose e dá origem ao adulto. Na metamorfose em ascídias, a cauda e a notocorda desaparecem.

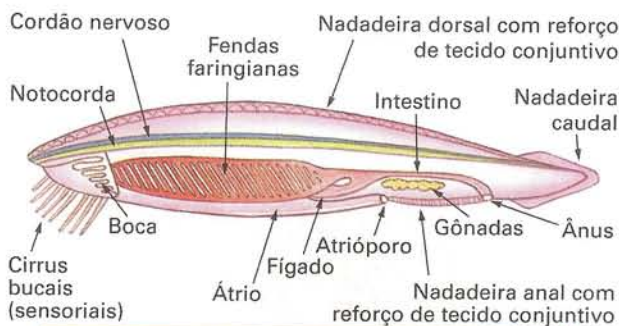


Esquema da metamorfose em ascídia e estrutura interna da larva e do adulto. A larva mede cerca de 4 mm de comprimento e a ascídia adulta mede cerca de 10 cm de comprimento (cores-fantasia).

3. Subfilo Cephalochordata

Os cefalocordados estão representados por animais conhecidos como **anfioxos**, que compreendem cerca de trinta espécies, todas vivendo em ambiente marinho.

Esses animais já foram mencionados quando estudamos Embriologia no capítulo 10.



Esquema de anfioxo (vista interna). O animal mede cerca de 6 cm de comprimento (cores-fantasia).

Embora passem a maior parte do tempo enterrados, eles podem nadar ativamente na água por curtos períodos de tempo. A natação do anfioxo é semelhante à verificada nos peixes: ondulação lateral do corpo, resultante da contração alternada dos

miótomos, blocos musculares arranjados serialmente ao longo do corpo.

Esses animais possuem nadadeiras, que, distintamente das verificadas nos peixes, são formadas apenas por dobras da pele, sem elementos esqueléticos de sustentação em seu interior; elas possuem apenas reforços de tecido conjuntivo.

Essas estruturas são chamadas de nadadeiras pela semelhança superficial com as nadadeiras dos peixes e por ocuparem posições comparáveis às desses vertebrados: uma dorsal, uma caudal e uma anal. Os anfioxos só apresentam nadadeiras ímpares, ao passo que nos peixes existem também as pares, que são as peitorais e as pélvicas.

Assim como nos urocordados, as fendas branquiais dos cefalocordados são bem desenvolvidas, indicando o hábito filtrador desses animais. Eles obtêm o oxigênio e o alimento de que necessitam por meio da circulação de água que promovem por ação dos cílios que há nessa região das fendas, como ocorre nos urocordados.

O sistema circulatório é **fechado**, formado apenas por vasos, alguns contráteis, responsáveis pela propulsão do sangue. Não possuem coração

típico, mas possuem um **seio venoso** com parede contrátil.

O sistema nervoso dos cefalocordados é bastante simplificado, formado por um cordão nervoso dorsal, oco, que apresenta uma dilatação na região anterior, denominada **vesícula cerebral**. Esta contém uma única mancha pigmentar, que permite ao animal perceber a luz. Do tubo nervoso dorsal partem nervos para diferentes regiões do corpo.

4. Subfilo Vertebrata: características gerais

Os vertebrados compreendem cerca de 50 mil espécies, com representantes adaptados aos ambientes aquático, terrestre e aéreo. Nesse subfilo encontram-se desde animais muito pequenos, como alguns peixes que pesam cerca de 0,1 grama, até animais muito grandes, como as baleias, que chegam a pesar cerca de 100 toneladas.

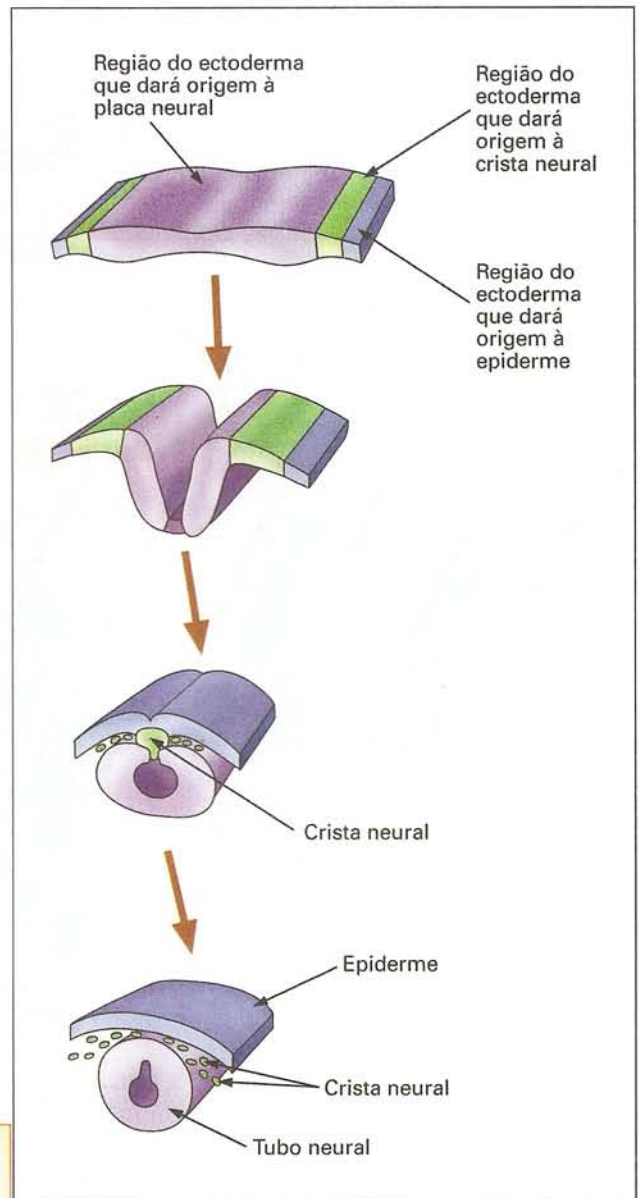
Os vertebrados distinguem-se dos outros animais por uma série de características que passamos a comentar a seguir.

O desenvolvimento da cabeça ocorreu de forma peculiar. A origem embriológica de muitos dos músculos, da derme da pele e das estruturas esqueléticas da cabeça é muito diferente da que ocorre no tronco, onde músculos, derme e estruturas esqueléticas originam-se dos somitos mesodérmicos (veja capítulo 10).

Na região cefálica essas estruturas derivam de células embrionárias especiais típicas e exclusivas dos vertebrados: as células da **crista neural** (veja o capítulo 10 e a figura ao lado).

As células da crista neural migram pelo corpo, dando origem também a várias estruturas além das já mencionadas, como: quase todo o sistema nervoso periférico, oligodendrócitos especiais (células de Schwann) que formam o estrato mielínico (bainha de mielina) dos nervos, células pigmentares da pele, o tecido conjuntivo de muitas glândulas endócrinas (timo, hipófise, tireóide, paratireóide) e das glândulas salivares e lacrimais.

Esquemas da região dorsal do embrião com destaque apenas para a formação da crista neural e do tubo neural em vertebrados a partir do ectoderma (cores-fantasia).



Além dessas características, outras podem ser mencionadas.

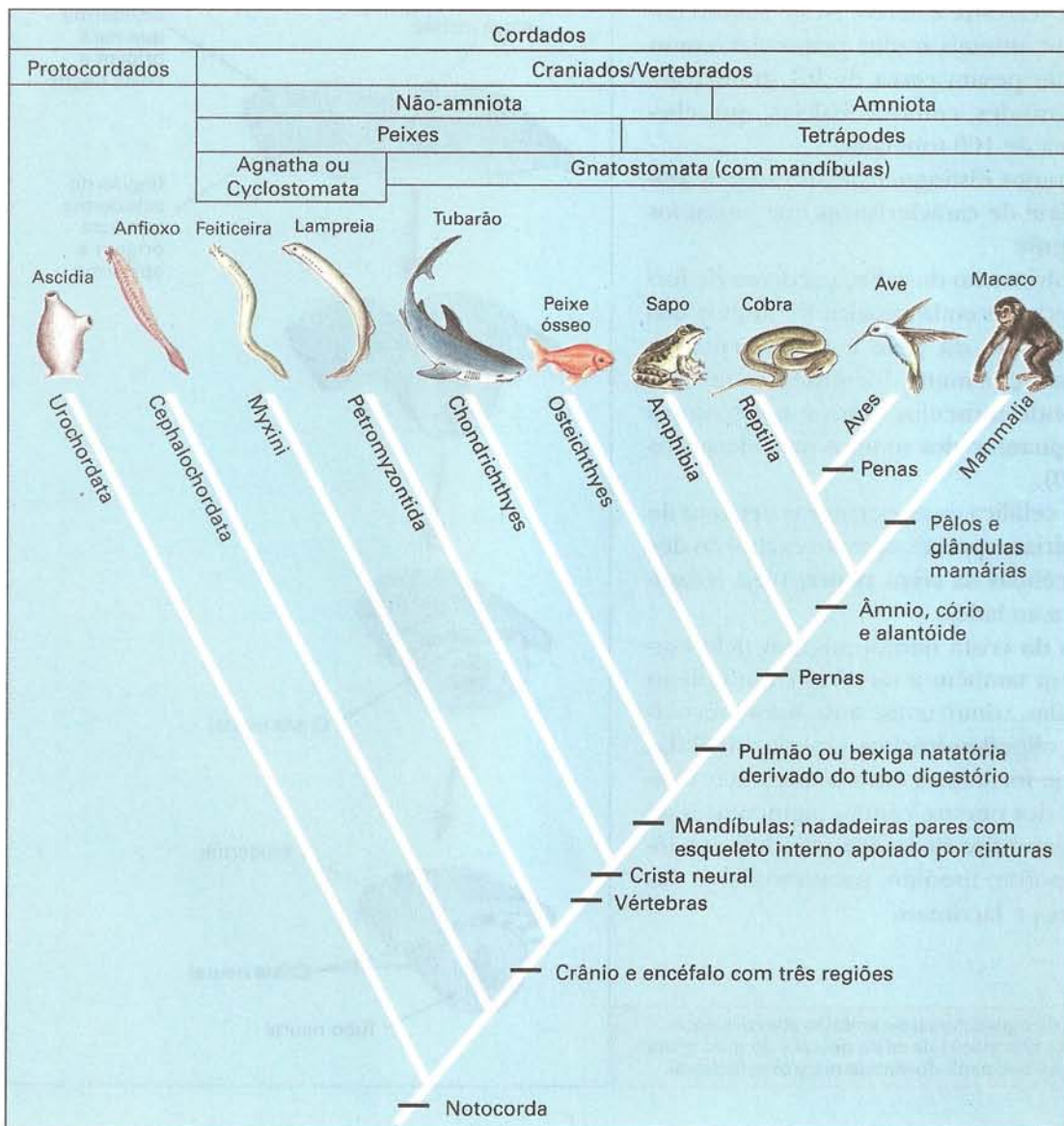
A pele dos vertebrados é formada por duas camadas: a epiderme, mais externa, e a derme, mais interna. A epiderme é sempre multiestratificada, isto é, formada por várias camadas de células, enquanto a dos demais animais é sempre uniestratificada. A derme é um tecido rico em vasos sanguíneos e em estruturas sensoriais.

O corpo é sustentado por endoesqueleto cartilaginoso ou ósseo, que dos condrictes até os mamíferos passa a ser composto basicamente de duas partes:

- **esqueleto axial:** compreende o crânio e a coluna vertebral;
- **esqueleto apendicular:** compreende as cinturas **escapular** e **pélvica** e o esqueleto das **nadadeiras** ou dos **membros**.

No desenvolvimento embrionário dos vertebrados, surgem estruturas especiais relacionadas com a proteção, nutrição e excreção dos embriões. Essas estruturas são os anexos embrionários: saco vitelínico, âmnio, cório e alantóide, já estudados no capítulo 10.

A classificação dos craniados que vamos adotar baseia-se na hipótese filogenética representada no cladograma a seguir. Acima do cladograma constam outras formas mais tradicionais de agrupamento desses organismos, de modo que é possível ser feita uma comparação entre a sistemática aqui adotada e a mais tradicional.



Cladograma apresentando a hipótese simplificada sobre as prováveis relações evolutivas entre os cordados. (Elementos representados fora de proporção.)

Vamos analisar os grupos mencionados nesse cladograma, comentando não só as características apontadas nos ramos, como também outras que são importantes para se compreender a evolução desses organismos e suas adaptações ao meio.

Neste capítulo trataremos dos craniados aquáticos, que podem ser coletivamente chamados de peixes (termo sem valor taxonômico), e dos anfíbios.

5. Agnatha ou Cyclostomata

Os **ágnatos** (Agnatha) ou **ciclostomados** (Cyclostomata) recebem esses nomes por não possuírem mandíbula (*a* = não; *gnáthos* = mandíbula) e terem a boca circular (*cyclo* = círculo; *stoma* = boca). Todos os demais craniados possuem mandíbula e por isso são chamados **gnatostomados**.

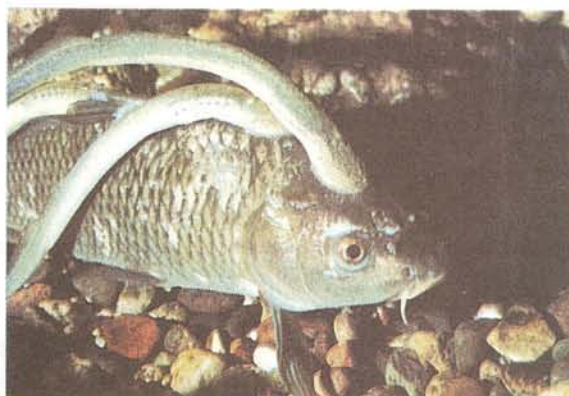
Os ágnatos possuem encéfalo simples e endoesqueleto cartilaginoso, com crânio rudimentar.

Eles foram abundantes nos mares de eras geológicas passadas, mas na fauna atual estão representados por apenas dois grupos: o das **feiticeiras**, com 14 espécies, e o das **lampreias**, com 41 espécies.



Cedoc

Fotografia de feiticeira: mede cerca de 40 cm de comprimento.



Cedoc

Fotografia de lampreias fixadas em um peixe ósseo: elas sugam o sangue e os tecidos, que dilaceram com a língua. Estas lampreias medem cerca de 30 cm de comprimento.

As **feiticeiras** podem atingir cerca de 1 m de comprimento. São exclusivamente marinhas e vivem a mais de 25 m de profundidade. Carnívoras, alimentam-se principalmente de pequenos poliquetas, crustáceos e peixes moribundos. Sua boca, rodeada de seis tentáculos, é reduzida, com dentes pequenos, usados para arrancar pedaços do corpo da presa.

Couro de enguia

As feiticeiras são chamadas também popularmente de “enguias de muco”, pois possuem corpo liso, sem escamas e com produção abundante de muco. Assemelham-se grosseiramente a um peixe ósseo de corpo alongado que também é chamado de enguia, mas que não é aparentado das feiticeiras.

A partir de 1980 tem havido um aumento enorme da procura de feiticeiras para a produção de couro, popularmente chamado de “couro de enguia”, que é produzido por um processo de curtimento da pele de feiticeiras.

A demanda internacional desse couro levou à erradicação das populações de feiticeiras na Ásia e depois na costa oeste da América do Norte, em áreas onde a captura é facilmente realizada por meio de redes.

Os esforços de pesca estão agora se concentrando nas costas da América do Sul e no Atlântico Norte.

Essa forma irracional de utilização dos recursos naturais tem levado ao esgotamento de populações naturais de várias espécies de seres vivos.

No caso das feiticeiras, pouco se sabe sobre sua biologia. Não temos idéia do tempo de vida delas, não sabemos como ou onde se reproduzem para propor medidas de uso racional desse recurso.

Enquanto a sociedade não se conscientizar da importância da utilização dos recursos naturais de forma sustentável, esses recursos acabarão ficando escassos e muitas vezes inexistentes.

As **lampreias** são principalmente ectoparasitas de peixes, golfinhos e baleias. Chegam a medir 1 m de comprimento. Ocorrem tanto no mar como em água doce de regiões temperadas. Sua boca é ampla, com numerosos dentes córneos, com os quais elas se fixam na pele de outros animais. A língua também apresenta dentículos córneos, usados para dilacerar a pele da vítima. As lampreias alimentam-se de fluidos do corpo de seus hospedeiros, debilitando-os, embora geralmente não os matem.

6. Peixes cartilagosos

Apesar de os ágnatos terem endoesqueleto cartilaginoso, essa condição também ocorre nos chamados **peixes cartilagosos** ou **condrictes** ou Chondrichthyes (*condri* = cartilagem; *ictio* = peixe). Nos condrictes, o crânio, as vértebras e o restante do esqueleto são bem desenvolvidos.

Podem ser classificados em dois grupos:

- **Holocephali (holocéfalos)**: representados pelas **quimeras**, que chegam a medir 1 m de comprimento e vivem em águas oceânicas frias, entre 80 e 1 800 m de profundidade; possuem brânquias

Fotografia de quimera: mede cerca de 80 cm de comprimento.

protegidas por opérculo, corpo sem escamas, cauda longa e flexível e olhos muito grandes.



Cedoc

Opérculo

Quimera no Brasil

Pesquisadores da Universidade do Vale do Itajaí (Univali), em Santa Catarina, e da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), no Rio Grande do Sul, descobriram em 2004 uma nova espécie de quimera, endêmica no Brasil, que recebeu o nome de *Hydrolagus matallanai*.

Foram capturados 21 exemplares no litoral brasileiro em profundidades entre 450 e 700 metros, medindo até cerca de 40 cm de comprimento. Esse material está depositado no Museu Oceanográfico da Univali e é o primeiro registro da ocorrência de quimera no Brasil.

- **Elasmobranchii (elasmobrânquios)** ou **Selachii (seláquios)**: possuem fendas branquiais não-protegidas por opérculo e corpo recoberto por escamas. Estão representados por **tubarões** e **arraias**. É o maior grupo dentre os condrictes, formado por cerca de 760 espécies. Nesse grupo é que deteremos nossa atenção.



Luciano Candisani

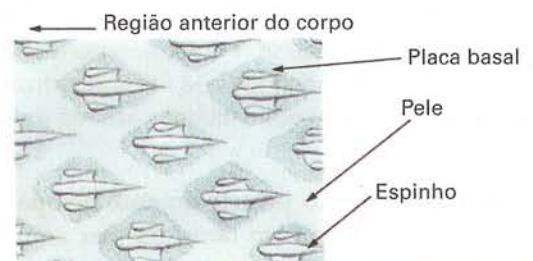
Fotografia de tubarão comum nos mares brasileiros. Mede cerca de 1,30 m de comprimento.



Luciano Candisani

Fotografia de arraia comum nos mares brasileiros. Mede cerca de 50 cm de comprimento, sem considerar a cauda.

As escamas dos elasmobrânquios diferem das que ocorrem nos peixes ósseos. Nestes as escamas são de origem dérmica, enquanto nos elasmobrânquios são de origem dermo-epidérmica e recebem o nome de escamas **placóides**. Cada uma delas é formada por um espinho voltado para a região posterior do corpo e uma placa basal situada na derme. A forma e a disposição das escamas no corpo desses animais reduzem a turbulência da água ao redor do animal, aumentando a eficiência do nado.



Esquema da disposição das escamas na pele dos elasmobrânquios. Observação ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Os elasmobrânquios possuem um prolongamento da região anterior da cabeça denominado **rosto**, de modo que a boca fica em posição ventral. Apesar do rosto e da boca ventral, esses animais conseguem morder e arrancar grandes pedaços do corpo das presas, pois seu arco mandibular está firmemente ligado ao crânio, possibilitando movimentar a mandíbula para a frente.

O surgimento da mandíbula propiciou a esses animais a ocupação de novos nichos ecológicos, melhor adaptação à predação e à defesa.

Em geral são carnívoros ativos, como o tubarão-branco (*Carcharodon carcharias*), que atinge 6 m de comprimento e é predador de mamíferos marinhos. No entanto, existem espécies que se alimentam de plâncton, caso do tubarão-baleia, a maior espécie de peixe conhecida, chegando a atingir 20 m de comprimento.

Os tubarões possuem olfato muito desenvolvido, percebendo o odor por quimiorrecepção das células localizadas em suas narinas, que são estruturas em fundo cego.

Nesses animais as narinas não possuem função respiratória, uma vez que não se comunicam com a faringe. Na respiração a água entra pela boca, passa pela faringe, banha as brânquias e sai pelas fendas branquiais.

Outro sentido importante para a orientação dos condrictes e dos peixes em geral é a percepção de vibrações na água por meio de mecanorreceptores localizados ao longo da **linha lateral**.

A linha lateral percorre longitudinalmente os dois lados do corpo dos peixes e é constituída por uma série de poros e tubos superficiais que se comunicam com a água e com células especiais. Estas percebem as vibrações na água e transmitem-nas a células nervosas.

A quimiorrecepção e a mecanorrecepção são mecanismos sensoriais que os condrictes utilizam principalmente para a percepção da presença de

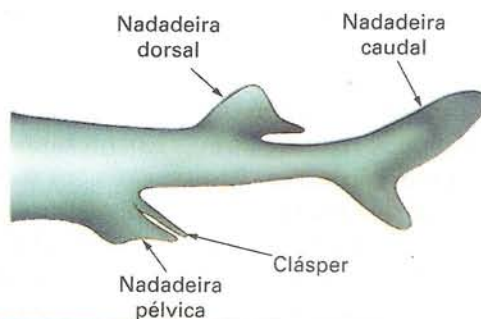
presas a grandes distâncias. Uma vez próximos delas, esses animais passam a utilizar-se da **visão**.

Os condrictes são geralmente nadadores eficientes, embora existam espécies que vivem no fundo do mar, assentadas sobre a areia ou em tocas, como é o caso de certas raias (ou arraias) e alguns tubarões.

O nado ativo dos tubarões já foi relacionado com a necessidade de se manterem na coluna de água sem afundar, pois não possuem bexiga natatória. Essa estrutura é encontrada nos osteíctes e permite a esses peixes se manterem na coluna de água sem a necessidade de nadar (flutuabilidade neutra).

Hoje se sabe que os condrictes controlam sua flutuabilidade e densidade por meio dos teores de óleo presentes no fígado. Teores elevados tornam esses animais pouco densos em relação ao meio líquido, ajudando-os a permanecer na profundidade desejada sem a necessidade de nadar continuamente.

Quanto à reprodução, os elasmobrânquios são animais de sexos separados, apresentando dimorfismo sexual. O macho difere externamente da fêmea em função principalmente da presença do órgão copulador, o **clássper**, que corresponde a uma modificação das nadadeiras pélvicas.



Esquema da região posterior do corpo de um tubarão macho, mostrando o clássper.

A fecundação é sempre interna e o desenvolvimento é direto. Existem espécies ovíparas, ovovivíparas e vivíparas.

7. Peixes ósseos

Os **peixes ósseos**, também chamados **osteíctes** ou Osteichthyes (*osteo* = ósseo; *ictio* = peixe), possuem endoesqueleto basicamente formado por ossos. Entretanto, existem espécies em que o esqueleto é rico em estruturas cartilaginosas. Eles possuem opérculo protegendo as brânquias, estrutura ausente nos elasmobrânquios.

Esses peixes são classificados em dois grupos: **actinoptérigeos** ou **Actinopterygii** (*actinos* = raios; *pterygium* = nadadeira) e **sarcoptérigeos** ou **Sarcopterygii** (*sarcos* = carnoso).

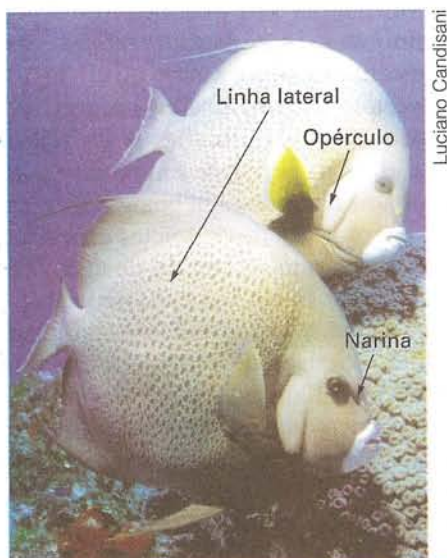
7.1. Actinoptérigeos

Os actinoptérigeos, como o nome diz, são peixes com nadadeiras sustentadas por raios. É o grupo mais diversificado e o que reúne o maior número de espécies de vertebrados.

São principalmente ovíparos, embora algumas poucas espécies sejam vivíparas. Seu estágio larval é denominado **alevino**.

São exemplos de actinoptérigeos: sardinha,

salmão, pintado, cascudo, bagre, baiacu e peixe-fra-de, dentre inúmeros outros.



Fotografia de peixe-fra-de cinza. Estes animais medem cerca de 40 cm de comprimento.

Nos actinopterígeos a bexiga natatória tem a função básica de controlar a flutuabilidade neutra do peixe, embora em alguns possa atuar também como um pulmão.

Em algumas espécies que vivem em rios de regiões tropicais surgiram outras estruturas auxiliares da respiração, como a faringe e o intestino, adaptadas à respiração aérea. Isso ocorre com o peixe-elétrico, que vive em rios rasos de regiões tropicais, como no norte do Brasil, onde é conhecido como **poraquê**. Esses animais sobem com certa frequência à superfície da água e engolem ar, utilizado nas trocas gasosas na faringe. Se forem impedidos de vir à superfície para respirar, eles morrem.

Os peixes-elétricos possuem músculos modificados em órgãos elétricos, que podem produzir descargas elétricas de aproximadamente 500 volts, usadas pelo animal como defesa ou na captura de suas presas.



Fotografia de peixe-elétrico: mede cerca de 1 m de comprimento.

7.2. Sarcopterígeos

Os sarcopterígeos são peixes que possuem nadadeiras carnosas, sustentadas por ossos semelhantes aos das pernas dos tetrápodes.

Em função disso, acredita-se que os primeiros vertebrados terrestres — os anfíbios — teriam surgido de um grupo de sarcopterígeos primitivos, sem representantes na fauna atual, que viviam em águas rasas respirando por brânquias e também por pulmões.

Em períodos geológicos passados, os sarcopterígeos eram abundantes, mas na fauna atual estão representados por apenas quatro gêneros, classificados em dois grupos: **Actinistias** (actinístias) e **Dipnoi** (dipnóicos).

No grupo dos actinístias está o celacanto (gênero *Latimeria*), peixe marinho que vive a aproximadamente 200 m de profundidade, na costa oeste da África. As latimérias realizam fecundação interna e são vivíparas.

Os dipnóicos são os peixes pulmonados. Vivem em rios de regiões tropicais e estão representados na fauna atual por apenas três gêneros: o *Neoceratodus* (da Austrália), o *Lepidosiren* (da América do Sul) e o *Protopterus* (da África). O peixe pulmonado brasileiro é a **pirambóia** (*Lepidosiren paradoxa*), que vive na região amazônica.



Fotografia de *Lepidosiren*: dipnóico de até 80 cm de comprimento.

Os peixes pulmonados possuem brânquias reduzidas, insuficientes para suas necessidades respiratórias. Assim, a respiração aérea realizada pelo pulmão é obrigatória para eles.

Ao contrário dos demais peixes, os dipnóicos possuem narinas em comunicação com a faringe através de canais denominados **coanas**. Estas também estavam presentes nos sarcopterígeos primitivos que deram origem aos tetrápodes e permaneceram em todos os vertebrados terrestres.

Quanto à reprodução, os peixes pulmonados são ovíparos.

Alguns peixes ósseos curiosos

Vamos mencionar alguns peixes ósseos do grupo dos actinoptérgeos que apresentam certos aspectos interessantes:

- **esturção:** vive na água doce ou no mar, no hemisfério Norte. Difere dos demais osteíctes por possuir esqueleto rico em cartilagem. A desova desse peixe é apreciada como alimento pelo ser humano, sendo conhecida como **caviar**;



Fotografia de esturção (*Acipenser*): chega até 3 m de comprimento.

- **cavalo-marinho:** é o macho que incuba os ovos. Ele possui uma bolsa no abdome, onde a fêmea deposita os óvulos. Ocorrem aí a fecundação e o desenvolvimento do embrião;



Fotografia de cavalo-marinho: mede cerca de 12 cm de comprimento.

- ***Periophthalmus*:** vivem em praias e em manguezais de regiões tropicais e subtropicais. Durante a maré baixa, usam suas nadadeiras para deslocar-se sobre o fundo e mesmo para subir em raízes e galhos inferiores das árvores de mangue. Nesse período em que estão fora da água, respiram o ar atmosférico, que passa para a bexiga natatória, muito irrigada e que atua como pulmão. Não são, no entanto, peixes pulmonados;



Fábio Colombini

Fotografia de *Periophthalmus*: mede cerca de 8 cm de comprimento.

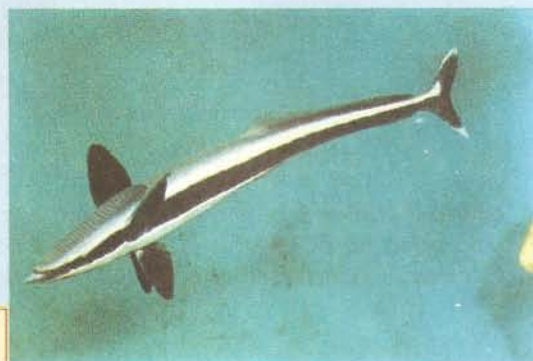
- **peixe-voador**: peixe marinho que possui nadadeiras peitorais amplas, utilizadas para planar quando emerge da água;



Denise Greco

Fotografia de peixe-voador: mede cerca de 26 cm de comprimento.

- **rêmora**: peixe marinho que possui nadadeira dorsal modificada em disco adesivo, com o qual se prende à superfície do corpo de outros animais; não são parasitas, alimentando-se dos restos dos alimentos ingeridos por seus hospedeiros.



Denise Greco

Fotografia de rêmora: mede cerca de 30 cm de comprimento.

8. Anfíbios

O primeiro grupo de vertebrados que invadiu o ambiente terrestre foi o dos anfíbios. Eles evoluíram a partir de peixes sarcopterígeos, com nadadeiras pares carnosas e lobadas, respiração pulmonar e narinas em comunicação com a faringe através de coanas.

As nadadeiras desses animais deram origem aos membros anteriores e aos posteriores, estruturas muito mais eficientes para o deslocamento em terra. A presença de pulmões e de membros permitiu-lhes abandonar a água e explorar um novo ambiente, onde havia maior disponibilidade de alimento e praticamente não existiam predadores que pudessem se alimentar de um vertebrado.

Os anfíbios receberam esse nome pelo fato de a maioria de suas espécies passar uma fase da vida na água e outra fase na terra (*anfi* = duas; *bio* = vida). Nesses casos, na época da reprodução, eles retornam ao ambiente aquático, onde machos e fêmeas se unem, eliminando juntos os óvulos e os espermatozoides na água, ocorrendo fecundação externa.

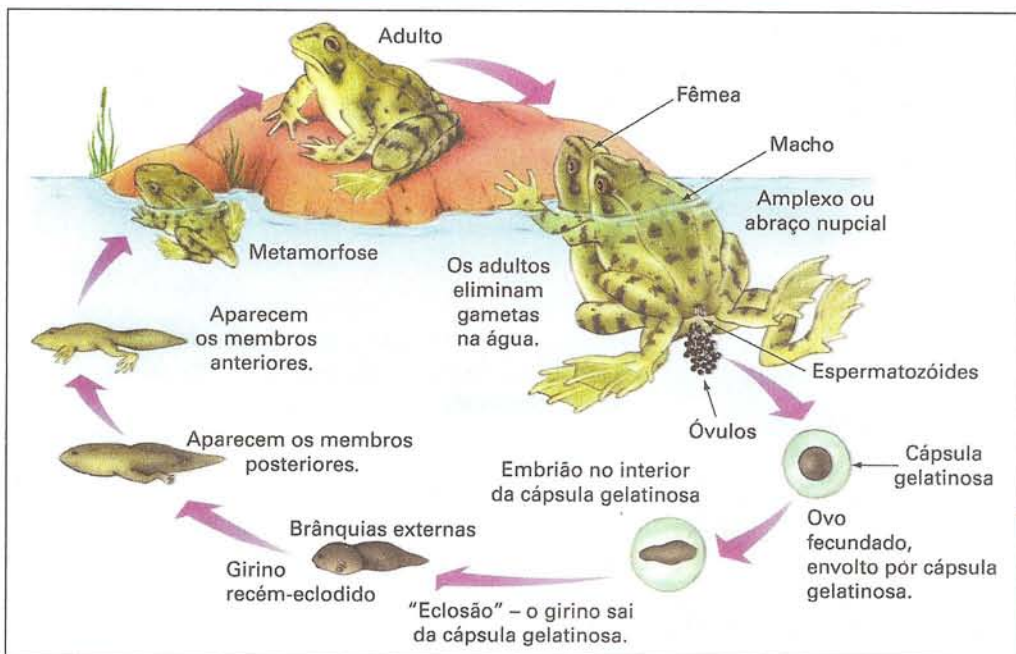
Os ovos formados não possuem estruturas que impeçam a perda de água e por isso não são viáveis em ambiente seco.

Em muitos anfíbios, como as rãs, os ovos se desenvolvem na água, formando uma larva aquática denominada **girino**, que respira através de brânquias externas. Após algum tempo, o girino sofre metamorfose, dando origem ao anfíbio adulto, terrestre, que respira por pulmões e pela pele. Durante esse processo as brânquias desaparecem.

Embora esse seja um padrão comum de reprodução nos anfíbios, ele não é o único. A diversidade de modos de reprodução sexuada é muito grande nesse grupo, havendo inclusive espécies em que a fecundação é interna.

Apesar das estruturas que permitiram a adaptabilidade desse grupo ao ambiente terrestre, os anfíbios permanecem restritos a ambientes úmidos ou aquáticos.

O principal fator responsável por essa restrição é a **pele**, que é delgada e não possui estruturas que impeçam a perda de água. A pele é rica em **glândulas mucosas**, que a mantêm sempre úmida e permeável. Além disso, é extremamente irrigada, constituindo importante superfície respiratória.



Esquema do ciclo de vida generalizado de uma rã. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Os anfíbios são animais predadores. O tipo de presa e o modo como ela é capturada variam muito nas diferentes espécies. Em muitos sapos e salamandras que se alimentam de insetos, por exemplo, a língua é presa na frente da abertura bucal, sendo lançada rapidamente para fora da boca no momento da captura. Como a ponta da língua é viscosa, o inseto fica aderido a ela. Em seguida, a língua é recolhida, trazendo o alimento até a boca.

Como estruturas de defesa, esses animais possuem glândulas de veneno na pele. Esse veneno só é liberado quando as glândulas são comprimidas, o que ocorre geralmente quando são abocanhados por um predador. O sabor desagradável e o efeito tóxico do veneno fazem com que os predadores evitem os anfíbios. Em certos sapos e certas salamandras, essas glândulas de veneno concentram-se principalmente em um par de estruturas denominadas **glândulas parotóides**.

F. Rauschenbach/AGB Photo



Fotografia de sapo capturando uma presa. Este sapo mede cerca de 12 cm de comprimento.

Toxinas na pele de anfíbios

Uma grande diversidade de substâncias farmacologicamente ativas foi encontrada na pele dos anfíbios. Algumas delas são extremamente tóxicas e outras são menos tóxicas, mas capazes de produzir sensações desagradáveis em um predador quando este morde um anfíbio. Alcalóides cutâneos são abundantes e diversificados entre os sapos-veneno-de-flecha da família Dendrobatidae, dos trópicos do Novo Mundo. A maioria desses sapos possui cores brilhantes e se locomove na superfície do solo durante o dia, sem qualquer cuidado em se esconder.

Fotografia de *Dendrobates*, pequenos anuros coloridos que possuem muito veneno na pele. Medem cerca de 3 cm de comprimento.



Felipe F. Curcio

O nome sapos-veneno-de-flecha refere-se ao uso que os índios sul-americanos fazem das toxinas de alguns desses animais para envenenar a ponta dos dardos das zarabatanas utilizadas na caça. O uso dos sapos para essa finalidade parece estar limitado a três espécies de *Phylllobates* que ocorrem no oeste da Colômbia. Venenos vegetais, como o curare, também são usados para envenenar os dardos das zarabatanas em outras partes da América do Sul.

Adaptado de: F. H. Pough et al. *A vida dos vertebrados*. São Paulo: Atheneu, 1993.

Vamos agora comentar brevemente cada uma das ordens de anfíbios: **Urodela**, **Anura** e **Gymnophiona**.

8.1. Ordem Urodela

A ordem Urodela (*uros* = cauda) está representada por anfíbios de corpo alongado, com quatro membros usados na locomoção e que apresentam cauda: as salamandras.

Algumas espécies de salamandra retêm características das larvas no adulto, vivendo toda a sua vida no ambiente aquático e respirando por brânquias externas. É o caso, por exemplo, do axolotle e do neoturo.



Claude Nuridsany, Marie Perennou/SPL

Fotografia de axolotle (o nome deriva do asteca e significa monstro da água). Mede cerca de 30 cm de comprimento.

No Brasil ocorre somente uma espécie de salamandra: a *Bolitoglossa altamazonica*, que vive na Amazônia.



Patrícia Narvaes

Fotografia de *Bolitoglossa altamazonica*: única espécie de salamandra brasileira. Mede cerca de 5 cm de comprimento.

8.2. Ordem Anura

A ordem Anura (*a* = sem; *uros* = cauda) está representada por anfíbios sem cauda: os sapos, as rãs e as pererecas.

Possuem o corpo adaptado para saltar, com membros posteriores mais alongados, empregados para impulsionar o animal. O corpo é compacto, com coluna vertebral curta e rígida; as vértebras estão ligadas de modo a restringir movimentos laterais. A região pélvica é reforçada e firmemente ligada à coluna vertebral.

Os machos de anuros emitem diversos tipos de som, amplificados por papos chamados **sacos vocais**. Esses sons correspondem ao coaxar e são produzidos na época da reprodução visando atrair as fêmeas para o acasalamento.



Felipe F. Curcio

Fotografia de uma perereca com saco vocal expandido. Este animal mede cerca de 7 cm de comprimento.

8.3. Ordem Gymnophiona

Os anfíbios deste grupo possuem corpo alongado, vermiforme e são **ápodes**, isto é, sem pernas. Vivem enterrados ou em ambientes aquáticos de regiões tropicais. São chamados boiacicas, cecílias ou ainda cobras-cegas, por terem olhos vestigiais, às vezes recobertos por uma membrana.

A fecundação é interna: o macho possui um órgão copulador que é introduzido na cloaca da fêmea.

As fêmeas de algumas espécies depositam ovos, protegendo-os até sua eclosão. Surgem larvas com brânquias, sofrem metamorfose e dão origem

aos adultos. Em muitos casos, o embrião se desenvolve dentro do oviduto da fêmea, nascendo indivíduos já formados.



Dante Pavan

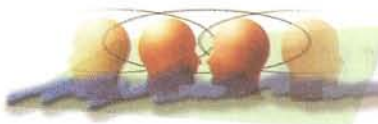
Fotografia de cecília. Este animal alimenta-se de insetos e minhocas e mede cerca de 30 cm de comprimento.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Mencione as características dos cordados e diga quais são os grandes subgrupos. Caracterize-os.
2. Muitas espécies de peixes são utilizadas na alimentação humana e consideradas excelente alimento. Procure saber quais são os peixes vendidos nas peixarias de sua cidade ou das cidades próximas. Diga se eles pertencem ao grupo dos peixes ósseos ou ao dos cartilaginosos, justificando sua resposta.
3. Conceitue os seguintes termos:

a) protocordata;	d) gnatostômata;
b) vertebrata;	e) ágnata.
c) craniata;	
4. Faça um cladograma que represente uma provável relação evolutiva entre os grupos de vertebrados.
5. Explique como é o corpo de um urocordado representado pela ascídia negra sob o ponto de vista anatômico e funcional.
6. Tomando como exemplo o anfioxo, dê as características gerais dos cefalocordados.
7. Dê as características gerais dos craniados e discuta por que alguns pesquisadores preferem usar o termo craniata em vez de vertebrata.
8. Caracterize as lampreias e as feiticeiras quanto ao modo de vida, de alimentação e de reprodução.
9. Construa uma tabela que mostre as principais diferenças entre os "peixes cartilaginosos" e os "peixes ósseos".
10. Diferencie os peixes pulmonados dos demais peixes ósseos e dê o nome do peixe pulmonado que ocorre na América do Sul.
11. Comente as características dos anfíbios quanto ao modo geral de reprodução e de desenvolvimento e explique por que, além da dependência da água para a reprodução, os anfíbios estão restritos a ambientes úmidos por outras características. Cite e explique essas características.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

O declínio das populações de anfíbios: uma questão atual em conservação biológica

Os anfíbios desempenham importante papel ecológico nos ecossistemas naturais. Entre suas "funções" ecológicas, pode-se destacar a contribuição no controle da abundância das populações de artrópodes, bem como o fato de servirem como fonte de ener-

gia para predadores de níveis mais altos na cadeia alimentar, tais como serpentes, aves, mamíferos e mesmo alguns invertebrados como os aracnídeos. Como todos os seres vivos, os anfíbios têm sua diversidade sempre ameaçada pela destruição de seus habitats em

decorrência da ação humana sobre o meio, uma vez que nos últimos anos o crescimento das populações humanas vem ocupando o espaço da paisagem natural em uma escala cada vez mais alarmante.

Entretanto, nas últimas décadas os pesquisadores têm observado que as populações de anfíbios vêm sofrendo declínios sensíveis de diversidade através da drástica queda em abundância ou mesmo da extinção de determinadas espécies em áreas em que as alterações antrópicas não são evidentes. Esse fenômeno, detectado em meados de 1989, é apontado pelos pesquisadores como rápido e substancial. Áreas montanhosas parecem ter maior tendência a apresentar declínios populacionais de anfíbios. Apenas na América Latina, pelo menos em treze países esse problema já é uma realidade dos últimos 20 anos. Atualmente, sabe-se que, nesse período, cerca de 53 espécies desapareceram de áreas em que eram frequentes, algumas das quais parecem ter sido completamente extintas. Essas espécies pertencem a trinta gêneros distintos, distribuídos em nove famílias.

Entre as causas do declínio, já foram apontadas doenças decorrentes de infestações por fungos específicos, alterações climáticas, introduções de espécies exóticas vegetais e animais e o uso de agrotóxicos. Entretanto, para a maioria dessas causas, há apenas a suspeita de que elas desempenhem de fato algum papel na redução e extinção de espécies de anfíbios. São necessários estudos específicos direcionados no sentido de detectar com maior precisão se

existe de fato relação entre essas causas e o declínio das populações de anfíbios e com que intensidade cada uma delas contribuiria para esse quadro.

O maior problema com que os pesquisadores se deparam na tentativa de fazer um diagnóstico preciso de quanto e em que regiões específicas da América Latina os anfíbios sofrem declínio está justamente relacionado à falta de conhecimento da diversidade de anfíbios ao longo do território. Para que qualquer ação específica paliativa seja tomada, é necessário empreender estudos que não só documentem a diversidade de anfíbios na maior diversidade de habitats possível, mas que também se preocupem em reunir informações ecológicas, de variação climática e de características físicas do meio. A realização de estudos dessa natureza esbarra no problema da falta de recursos financeiros voltados para a pesquisa nos países latino-americanos, uma limitação para a qual a comunidade científica parece estar voltando as atenções já que este continente guarda uma biodiversidade de riqueza e importância incomparáveis.

Conclui-se assim que, embora o declínio das populações de anfíbios seja um problema real e bastante atual em Biologia, pouco se pode fazer para reverter o quadro apenas com o conhecimento atual. Os esforços devem se concentrar em estudar o problema, conhecer suas causas para que as ações de combate possam ser planejadas com maior eficiência.

Texto escrito especialmente para este livro por Felipe Franco Curcio, Mestre em Zoologia pela Universidade de São Paulo.

- Coloque-se na posição de um pesquisador interessado em resolver o problema apontado no texto e redija uma carta explicando para um órgão hipotético de financiamento de pesquisa a importância de um trabalho para se conhecer a diversidade de seres vivos em geral e a de anfíbios em particular.



TESTES

1. (Puccamp-SP — mod.) Considere o texto abaixo:

“Talvez a maior de todas as inovações surgidas durante a história evolutiva dos vertebrados tenha sido o desenvolvimento da mandíbula, que, manipulada por músculos e associada a dentes, permitiu aos peixes primitivos arrancar com eficiência grandes pedaços de algas e de animais, tornando disponível para si uma nova fonte de alimento. Os cordados sem mandíbula estavam restritos à filtração, à sucção do alimento ou à captura de pequenos

animais. Os primeiros vertebrados mandibulados tornaram-se predadores, permitindo-lhes grande aumento no tamanho”.

Analisando o texto e aplicando seus conhecimentos sobre os animais relacionados com o fato descrito, um estudante apresentou os seguintes comentários:

- I — Lampreias são ectoparasitas de peixes e baleias, e feiticeiras alimentam-se de vermes marinhos ou de peixes moribundos.

- II — Os ágnotos têm desvantagens em relação aos gnatostomados quanto à obtenção de alimento.
- III — Atualmente, o número de espécies de ágnotos é muito menor do que o dos peixes gnatostomados, fato provavelmente ocasionado pela ausência de mandíbula.
- IV — As mandíbulas não se limitam à captura de alimento, mas também podem manipular objetos e cavar buracos.

São corretos os comentários:

- a) I, II, III e IV. d) I, II e IV, somente.
b) II, III e IV, somente. e) I, II e III, somente.
c) I, III e IV, somente.

2. (Fuvest-SP) Apresenta simetria bilateral, metameria e sistema nervoso dorsal o(a):

- a) gafanhoto. c) estrela-do-mar. e) anfioxo.
b) planária. d) medusa.

3. (PUC-RS — mod.)

- I — Presença de larva de vida livre, apresentando tubo nervoso e notocorda na cauda, bem como fendas branquiais.
- II — Não-segmentados e sem órgãos excretores.
- III — Marinhos de águas litorâneas ou profundas.
- IV — Adultos com forma tubular (globosa ou irregular), apresentando o corpo revestido por uma túnica transparente.

A análise das afirmativas permite concluir que estas se referem a:

- a) uma lampreia. c) uma ascídia.
b) um anfioxo. d) uma lula.

4. (PUC-RS) A maioria dos peixes ósseos está constituída por espécies ovíparas; há, porém, algumas espécies nas quais os ovos eclodem dentro do corpo do animal. Estas últimas espécies são denominadas:

- a) ovovivíparas. d) heterovíparas.
b) larvíparas. e) homovíparas.
c) vivíparas.

5. (UFV-MG) O filo Chordata agrupa exemplos de organismos bastante diversificados. Entretanto, seus representantes apresentam algumas características morfológicas em comum, pelo menos em alguma fase do desenvolvimento. Das características abaixo, aquela que **não** é comum a todos os Chordata é:

- a) fendas branquiais. d) respiração pulmonar.
b) tubo nervoso dorsal. e) celoma.
c) notocorda.

6. (UEM-PR) Indique o que for correto:

- 01) Os corais são constituídos por esqueletos calcários de cnidários da classe Anthozoa.
- 02) Escólex e proglótides são estruturas de platelmintos da classe Turbellaria.
- 04) Tentáculos com ventosas e sifão exalante estão presentes em moluscos da classe Cephalopoda.
- 08) Cabeça com tentáculos e palpos, corpo com parapódios são características de anelídeos da classe Polychaeta.
- 16) Corpos de formas circular, abaulada ou achatada; braços ausentes; locomoção pelo movimento de espinhos

e de pés ambulacrais caracterizam equinodermatas representantes da classe Echinoidea.

- 32) Vertebrados com pele fina e sem escamas, com inúmeras glândulas produtoras de muco, são pertencentes à classe Condrichthyes.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

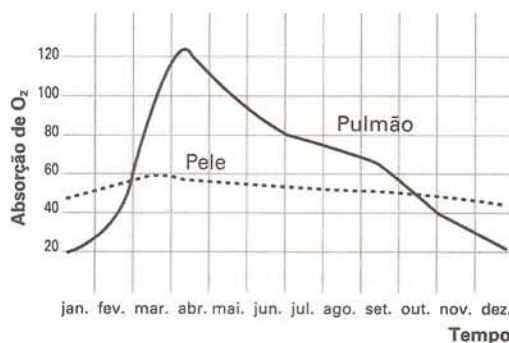
7. (UFSE) De modo geral, produzem maior número de gametas os animais que apresentam:

- a) desenvolvimento interno. d) fecundação interna.
b) desenvolvimento direto. e) fecundação externa.
c) hermafroditismo.

8. (UFRN) Coloca-se um girino em um recipiente com água marinha. Após certo tempo, o girino:

- a) sofre metamorfose, pela ação da salinidade.
b) perde água em excesso, por osmose, e morre.
c) absorve muita água, através da difusão, e morre.
d) começa a murchar, porque suas células se rompem.

9. (Unifor-CE) O gráfico abaixo mostra os resultados de uma experiência feita para comparar o papel da pele ao dos pulmões, em certa espécie de sapo do hemisfério norte.



Sobre esses dados fizeram-se as seguintes afirmações:

- I — Nos meses mais frios, a respiração cutânea predomina sobre a pulmonar.
- II — Nos meses em que o metabolismo dos animais é mais intenso, predomina a respiração pulmonar.
- III — A respiração cutânea é praticamente constante ao longo do ano.

É correto o que se afirma em:

- a) I, somente. d) II e III, somente.
b) II, somente. e) I, II e III.
c) III, somente.

10. (UFSM-RS) Um zoólogo recebe, para classificar, um animal vermiforme, desconhecido. Após estudar os aspectos anatômicos e histológicos, o pesquisador verifica que o exemplar possui certas características: uma grande cavidade entre a parede do corpo e o sistema digestivo, tubo digestivo completo e tecidos de origem mesodérmica. Essas características **excluem** a possibilidade de o animal ser classificado entre os:

- a) Annelida. d) Holothuroidea.
b) Platyhelminthes. e) Gimnophiona (Apoda).
c) Nematoda.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unesp-SP) “Cientistas ingleses disseram ter descoberto os restos de um dos primeiros tubarões. Os fósseis encontrados datam de 25 milhões de anos antes do que se acreditava. A impressão, a partir dos achados, é que os tubarões desta época não tinham mandíbulas.” (*O Estado de S. Paulo*, 17 fev. 1998. p. A-12.)

- Qual é o grupo de vertebrados que não possuía mandíbulas e que, provavelmente, antecedeu aos peixes? Cite um exemplo de um animal desse grupo.
- Qual a grande vantagem da aquisição de mandíbula pelos peixes?

2. (Unicamp-SP) Os vertebrados apresentam apenas endoesqueleto, enquanto os invertebrados podem apresentar exoesqueleto ou endoesqueleto.

- Dê um exemplo de invertebrado com endoesqueleto e outro com exoesqueleto. Indique em cada caso a função e o principal componente químico do esqueleto.
- Que grupo de vertebrados possui esqueleto inteiramente cartilaginoso?

3. (UFPB) Apesar de serem morfologicamente muito diferentes, os animais abaixo apresentam, pelo menos em uma fase de sua vida, características comuns que permitem agrupá-los no mesmo filo. A que filo pertencem e quais são suas características comuns?



4. (UFGO) “Naquela tarde assaram trinta bois, quantidade ínfima para abastecer os homens que ainda sobravam (...)” Os bois e os homens pertencem à Classe dos Mamíferos e ao Filo dos Cordados.

- Cite duas características exclusivas desse filo.
- Justifique a afirmação: “Uma das inovações mais significativas surgidas durante a evolução dos Cordados foi o desenvolvimento da mandíbula”.



Chordata II

1. Répteis

Os répteis surgiram a partir de um grupo primitivo de anfíbios que não tem representantes na fauna atual. Apresentam uma série de características que lhes permitiram explorar o ambiente terrestre sem depender da água para a respiração ou para a reprodução. São considerados o primeiro grupo de vertebrados tipicamente terrestres.

São exemplos de répteis os lagartos, as cobras, as tartarugas e os jacarés.

A pele desses animais é seca, sem glândulas mucosas, e recoberta por escamas de origem epidérmica ou por placas ósseas de origem mesodérmica. Com essas características, a pele deixou de ser uma estrutura permeável, dando ao animal grande resistência à dessecação, de modo que puderam expandir-se em ambientes áridos.

Essa pele seca e impermeável deixou também de ser uma estrutura respiratória. Nos répteis, a respiração é sempre pulmonar; seu pulmão é mais complexo do que o dos anfíbios e suficiente para suas necessidades respiratórias.

As glândulas de veneno da pele dos anfíbios foram substituídas por outros métodos de defesa. Os répteis são animais muito ágeis e geralmente possuem dentes bem desenvolvidos.

A independência da reprodução dos anfíbios em relação à água tem a ver com uma série de estruturas surgidas nos ovos desses animais. Os ovos passaram a ser revestidos por uma casca, que pode ser pergaminácea ou calcária, protegendo o embrião contra a dessecação; essa casca é porosa, permitindo a entrada de O_2 e a saída de CO_2 , fundamentais para a respiração do embrião.

O isolamento do embrião no interior de um ovo com casca veio associado ao surgimento dos anexos embrionários já comentados no capítulo 10: âmnio, cório, alantóide e saco vitelínico.

Como regra geral, os embriões e os adultos de répteis excretam ácido úrico. Essa é outra característica importante na evolução desses animais, pois essa substância não necessita de água para ser eliminada, representando para eles uma importante economia de água. Além disso, essa excreta pode ser armazenada no interior do ovo sem contaminar o embrião, pois

não é tóxica e é insolúvel em água.

Nos répteis, os sexos são geralmente separados e o desenvolvimento é direto, não havendo estágios larvais.

A imensa maioria dos répteis é ovípara, mas existem alguns lagartos e cobras peçonhentas que podem apresentar ovoviviparidade ou viviparidade.

No ambiente terrestre as variações de temperatura são maiores do que no ambiente aquático. Manter a temperatura do corpo praticamente independente da temperatura ambiente é fundamental para os vertebrados terrestres. Essa independência foi conseguida por meio de mecanismos termorreguladores, que podem ser de dois tipos: a **ectotermia** e a **endotermia**.

A ectotermia é empregada pela generalidade dos répteis e a endotermia, pela generalidade das aves e dos mamíferos.

Os animais ectotérmicos aquecem seus corpos por meio de fontes externas de calor, como o Sol ou a superfície quente de uma rocha. Por isso é comum vermos os répteis expostos ao calor da luz solar durante o dia. Quando muito aquecidos, eles geralmente procuram locais sombreados ou entram na água. Com esse comportamento, conseguem manter praticamente constante a temperatura de seus corpos em torno de $37^\circ C$.

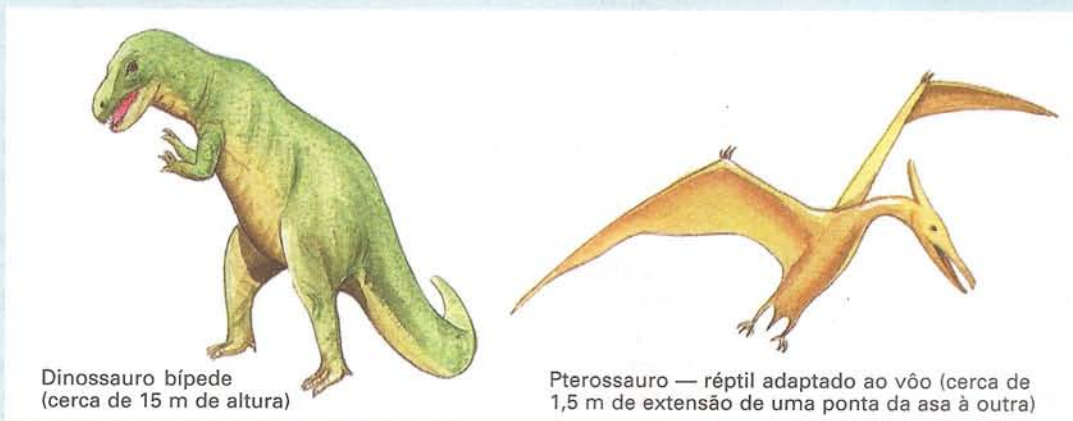
Os animais endotérmicos dependem da produção de calor pelo metabolismo para elevar a temperatura e mantê-la constante. Portanto, se nos ectotérmicos a fonte de calor é externa, nos endotérmicos ela é interna.

Os termos ectotérmico e endotérmico têm sido utilizados atualmente em substituição aos termos **pecilotérmico** e **homeotérmico**, respectivamente, embora não sejam sinônimos. A pecilotermia refere-se à variação na temperatura do corpo em função da temperatura do meio (*pecilo* = variável; *termos* = temperatura). A homeotermia refere-se à manutenção de uma temperatura corpórea constante, independentemente da temperatura do meio (*homeo* = igual). Os peixes, os anfíbios e os répteis são chamados de pecilotérmicos, enquanto as aves e os mamíferos, de homeotérmicos.

A era dos répteis: o Mesozóico

Quando surgiram com adaptações mais vantajosas ao ambiente terrestre do que as dos anfíbios, os primeiros amniotas passaram a competir com os anfíbios, quase levando-os à extinção.

Os animais coletivamente chamados de répteis dominaram o planeta durante 180 milhões de anos, na Era Mesozóica, que ficou conhecida como a Era dos Répteis. Nesse período viviam desde os répteis de pequeno porte até os gigantes dinossauros, que chegavam a medir cerca de 25 metros de comprimento. Muitos dinossauros eram carnívoros, como os grandes dinossauros bípedes, que se deslocavam sobre as duas pernas traseiras, enquanto outros eram herbívoros e quase sempre quadrúpedes. Alguns répteis retornaram secundariamente para o mar, como ocorreu com os ictiossauros, ou para a água doce, como foi o caso dos mesossauros. Eles invadiram também o ambiente aéreo, com o desenvolvimento de asas adaptadas ao voo planado, presentes nos pterossauros.



Dinossauro bípede
(cerca de 15 m de altura)

Pterossauro — réptil adaptado ao voo (cerca de
1,5 m de extensão de uma ponta da asa à outra)

Desenhos de reconstituições de répteis fósseis feitos principalmente a partir da análise de ossos do esqueleto (cores-fantasia).

A Era dos Répteis terminou há cerca de 65 milhões de anos, de forma repentina. Provavelmente essa extinção esteja ligada à queda de um meteoro gigante sobre a Terra, o que provocou a formação de uma nuvem densa de poeira, que impediu a penetração dos raios solares. Houve, então, alterações climáticas na Terra, com diminuição da temperatura, mortalidade de plantas e de muitos animais. Os répteis, principalmente os de grande porte, como os dinossauros, incapazes de manter a temperatura de seus corpos por processos internos, teriam morrido. Os répteis de pequeno porte teriam conseguido fugir do frio, abrigando-se em tocas nas rochas ou cavando buracos no solo, comportamentos não-compatíveis com animais de grande porte. Dados atuais sobre dinossauros de grande porte, entretanto, sugerem que alguns deles deveriam ser endotérmicos e que teriam morrido por falta de alimento.

Atualmente, existem apenas cerca de 6500 espécies de répteis, ocupando principalmente o ambiente terrestre, mas com representantes também no ambiente marinho e no de água doce, desde os trópicos até as regiões temperadas. Essas espécies estão distribuídas em quatro grupos: **Rhyncocephalia** (ou **Sphenodontia**), **Crocódilia**, **Chelonia** (ou **Testudininae**) e **Squamata**. Vejamos um breve comentário sobre cada um deles.

1.1. Rhyncocephalia

Nesse grupo existem apenas duas espécies: *Sphenodon punctatus* e *Sphenodon guntheri*, ambas popularmente conhecidas por tuatara.

Esses animais são restritos a ilhas da Nova Zelân-

dia, medem no máximo cerca de 60 cm de comprimento e são ovíparos.



Fotografia de tuatara. Mede cerca de 60 cm de comprimento.

James L. Amos/Corbis

1.2. Crocodilia

São répteis que, além de escamas, possuem placas ósseas dérmicas revestindo o corpo. São animais semi-aquáticos e podem ser encontrados em água doce e no mar. Todos são ovíparos.

Os crocodilianos estão divididos em três grupos:

- o dos **crocodilos**, que possuem representantes na água doce, no mar e em águas salobras; podem ser diferenciados dos jacarés por possuírem focinho mais estreito e pelo fato de, mesmo com a boca fechada, conseguirmos ver seus dentes superiores e inferiores, com destaque para o quarto dente inferior de cada lado da mandíbula;

Stock Photos



Fotografia da cabeça de um crocodilo. Este animal mede cerca de 4 m de comprimento.

- o dos **jacarés**, que vivem na água doce, possuem focinho mais largo do que o dos crocodilos e, quando estão com a boca fechada, deixam ver os dentes superiores, raramente alguns dos inferiores, mas nunca o quarto dente inferior;

Felipe F. Curcio



Fotografia da cabeça de um jacaré. Este animal mede cerca de 1 m de comprimento.

- o dos **gaviais**, restritos aos rios da Índia; possuem focinho bem estreito e longo.



Gloria Jafet/Kino.com.br

Fotografia de gavial. Este animal mede cerca de 3 m de comprimento.

Os crocodilos marinhos são os maiores répteis vivos na atualidade, com indivíduos que chegam a medir 7 m de comprimento.

No Brasil só existem jacarés, e a maior espécie é o jacaré-açu, que ocorre na região amazônica e chega a atingir cerca de 5 m de comprimento.

1.3. Chelonia

Esse grupo está representado pelas tartarugas (as marinhas e as de água doce), pelos cágados (de água doce) e pelos jabutis (terrestres).

Esses animais apresentam placas ósseas dérmicas, que se fundem originando uma carapaça dorsal e um plastrão ventral rígidos, que protegem o corpo. As vértebras e costelas fundem-se a essas estruturas. Não possuem dentes, mas apresentam lâminas córneas usadas para arrancar pedaços de alimento. São todos ovíparos.

No Brasil ocorre o maior quelônio de água doce do mundo, a tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*), cuja carapaça chega a 75 cm de comprimento. Ocorre também a maior tartaruga marinha, chamada de tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*), que chega a medir 2,5 m de comprimento.

Renata Moretti



Fotografia de tartaruga-da-amazônia. Mede cerca de 60 cm de comprimento.

Projeto Tamar

O Projeto Tartaruga Marinha (Tamar), do Departamento de Parques Nacionais e Reservas Equivalentes, foi iniciado em 1980, administrado pela Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN), visando avaliar a situação das tartarugas ao longo do litoral brasileiro e, conseqüentemente, efetivar um plano de ação capaz de garantir a preservação desses animais em nosso país.

Foram constatadas cinco espécies de quelônios marinhos desovando no Brasil: *Chelonia mydas*, *Caretta caretta*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys olivacea* e *Dermochelys coriacea*.

A época de desova varia de região para região, ficando compreendida, em termos gerais, entre setembro e março no litoral, e entre dezembro e maio nas ilhas oceânicas.

No período de desova, as tartarugas marinhas saem do mar normalmente à noite e vão até o limite da maré cheia para depositar seus ovos.

Somente as fêmeas vão até a praia. Ao sair da água, locomovem-se vagarosamente à procura do lugar ideal para a construção do ninho. Normalmente procuram um local não-alcançável pela maré.

No trajeto de subida e descida, as fêmeas deixam rastros na areia facilmente identificáveis, que normalmente se diferenciam de acordo com as espécies.

Para cada postura, em geral o número de ovos fica entre 100 e 150. A incubação dos ovos dura 45 dias (mínimo) a 70 dias (máximo). Os filhotes, assim que eclodem dos ovos, se dirigem para o mar. Esse percurso ninho-mar é essencial para que reconheçam a praia e retornem a ela na época da reprodução. Os nascidos em uma determinada praia sempre retornam a ela quando adultos para desovar.

1.4. Squamata

Esse é o grupo de répteis que apresenta maior número de espécies atuais e está representado pelos lacertílios, pelas anfisbenas e pelas serpentes. Esses animais possuem escamas recobrimdo o corpo e sofrem **mudas**: de tempos em tempos a parte externa da epiderme antiga, rica em substâncias córneas, é abandonada pelo animal.

No caso das cascavéis, na extremidade da cauda essa parte fica retida em mudas sucessivas, originando o guizo típico dessas serpentes. O número de botões do guizo não corresponde à idade da cobra, mas ao número de mudas que o animal já sofreu.

No grupo dos lacertílios estão lagartos, camaleões, iguanas, cobras-de-vidro e lagartixas.



Felipe F. Curcio

Fotografia de lagarto. Mede cerca de 25 cm de comprimento.



Felipe F. Curcio

Fotografia de cobra-de-vidro, lagarto ápoda. Mede cerca de 15 cm de comprimento.

Autotomia

Muitos **lacertílios**, como as lagartixas e certos lagartos e iguanas, possuem um interessante mecanismo de fuga de predadores: a **autotomia** (*auto* = próprio; *tomia* = cortar), em que abandonam parte da cauda, enganando o predador e conseguindo fugir. Depois de certo tempo, o animal regenera a parte perdida da cauda.

Há apenas um gênero de lacertílio venenoso: o *Heloderma* (monstro-de-gila), restrito ao México e ao sul dos Estados Unidos.

Um representante curioso de lagarto de grande porte é o **dragão-de-comodo**, que mede cerca de 3 m de comprimento e é um predador ativo.

No grupo das **anfisbenas** estão animais geralmente sem pernas, que vivem em galerias e cavam o solo. São popularmente chamados cobras-de-duas-cabeças e são ovíparos.



Felipe F. Curcio

Fotografia de anfisbena. Mede cerca de 30 cm de comprimento.

O grupo das **serpentes** está representado por répteis que no curso da evolução perderam as pernas e passaram a apresentar uma série de características anatômicas muito particulares, relacionadas com a capacidade de ingestão de presas grandes, inteiras, sem mastigá-las.

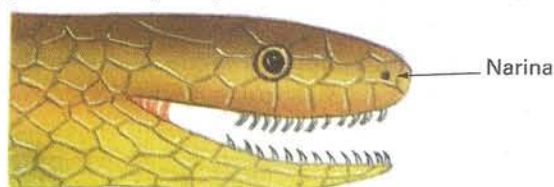
Essas características são: capacidade de abrir a boca em ângulo de quase 180°; ausência de fusão das duas metades da mandíbula na região mediana anterior, o que propicia grande abertura lateral da boca; grande capacidade de dilatação do corpo graças à elasticidade do estômago e da parede do corpo; e ausência do osso esterno unindo as costelas na região ventral, sendo suas costelas presas apenas às vértebras.

Na boca de algumas serpentes, existem glândulas especializadas que produzem veneno; as serpentes que têm essas glândulas são chamadas de **peçonhentas**. Essas glândulas podem ou não estar associadas a dentes inoculadores, que injetam o veneno no momento da mordida.

Existem quatro categorias de dentição nas serpentes, definidas em função dos dentes inoculadores de veneno (sua ausência, presença, tipo e localização):

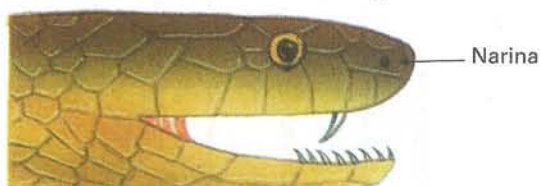
- nas serpentes da categoria **áglifa** não há dentes

inoculadores de veneno e todos os dentes são iguais (exemplos: jibóia, sucuri e caninana);



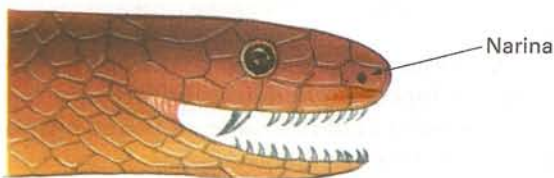
Esquema de dentição áglifa.

- nas da categoria **proteróglifa** há dentes inoculadores de veneno, localizados na região anterior da boca, que possuem um sulco por onde escorre o veneno; exemplos de serpentes peçonhentas são as chamadas corais-verdadeiras (gênero *Micrurus*);



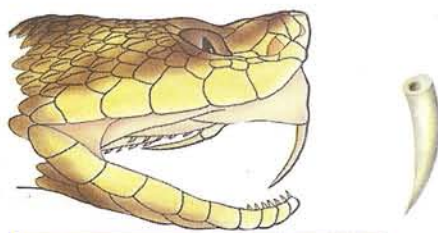
Esquema de dentição proteróglifa.

- nas da categoria **opistóglifa** há dentes inoculadores de veneno, localizados na região posterior da boca, que possuem um sulco por onde escorre o veneno; a cobra-cipó, as muçuranas e a maioria das falsas-corais são exemplos de opistóglifas; devido à posição desses dentes na boca, geralmente as serpentes dessa categoria não conseguem inocular o veneno com eficiência;



Esquema de dentição opistóglifa.

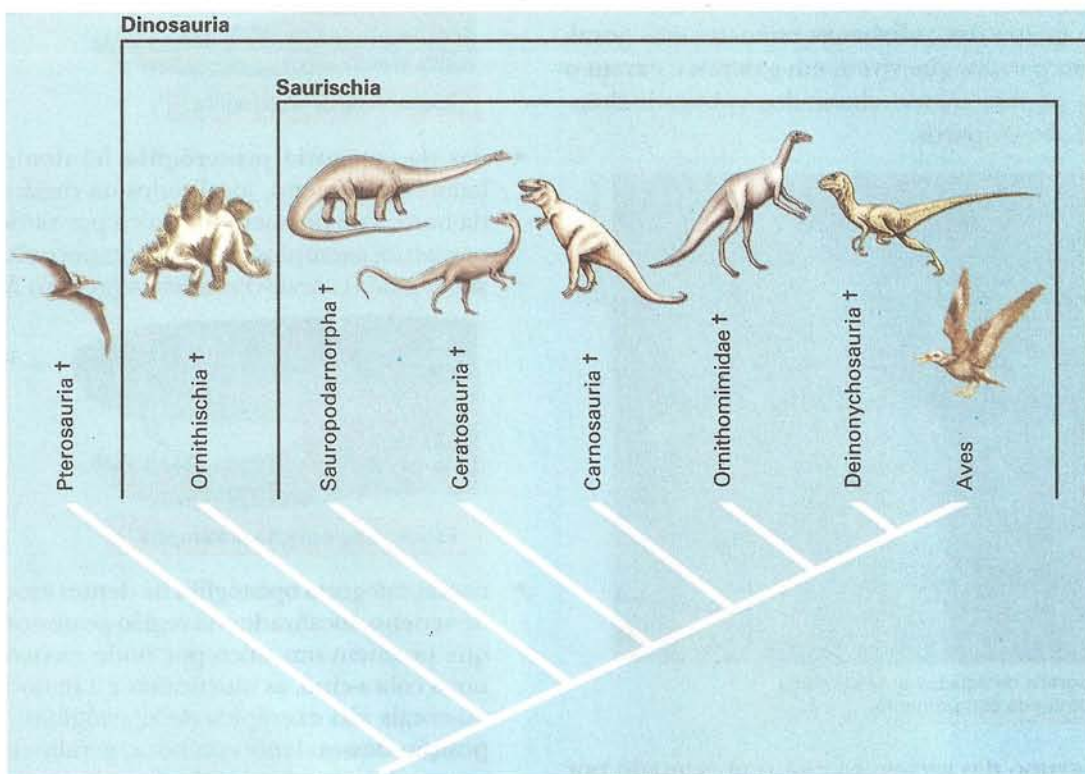
- nas da categoria **solenóglifa** há dentes inoculadores de veneno grandes, anteriores e com um canal interno por onde escorre o veneno; esse é o tipo de dentição mais especializado dentre as quatro categorias; exemplos de solenóglifas são as serpentes peçonhentas do grupo dos crotalíneos, como é o caso da cascavel.



Esquema de dentição solenóglifa.

2. Aves

As aves surgiram na Era dos Répteis, a partir de um grupo de dinossauros bípedes, predadores, que se deslocavam rapidamente sobre o solo utilizando as pernas traseiras. Elas **não** surgiram a partir dos répteis voadores do Mesozóico, como é o caso dos pterossauros.



Cladograma mostrando as prováveis relações entre os principais grupos de dinossauros Saurischia, incluindo as aves. As linhagens extintas estão marcadas com †. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Na linha evolutiva que partiu do grupo de dinossauros bípedes que deu origem às aves, surgiu sua característica mais marcante: as **penas**, estruturas que derivam das escamas dos répteis.

A ave mais antiga que se conhece assemelha-se mais a um dinossauro do que às aves atuais. Trata-se de uma ave extinta, denominada *Archaeopteryx litographica*. Apesar de possuir muitas características dos répteis (ossos compactos e pesados, cauda longa, dentes na boca), apresentava penas.



Fotografia de esqueleto fossilizado de *Archaeopteryx litographica*. Exemplar com cerca de 35 cm de comprimento.

As penas são compostas de **queratina**, substância com propriedades de isolante térmico, o que contribuiu para o surgimento da endotermia nas aves.

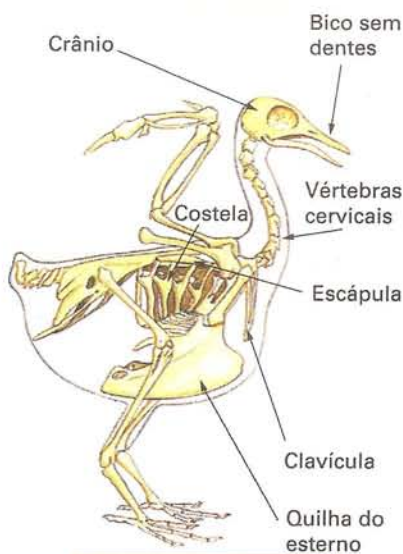
Além disso, as penas mostraram-se extremamente úteis para o voo, pois são leves e com arquitetura intrincada, que oferece boa resistência ao ar.

A importância das penas para o voo das aves veio associada a uma série de modificações no corpo desses animais, como a transformação dos membros anteriores em **asas**.

Ser aerodinâmico e manter o mínimo peso possível são atributos fundamentais para um animal voador. Na evolução das aves, as características que levaram à redução da sua densidade foram positivamente selecionadas.

O esqueleto das aves atuais é formado em grande parte por ossos ocos (ossos pneumáticos), que são pouco densos e delicados. Há redução e fusão de ossos, o que torna o corpo compacto. A cauda é reduzida e as cinturas escapular e pélvica são fundidas à coluna vertebral.

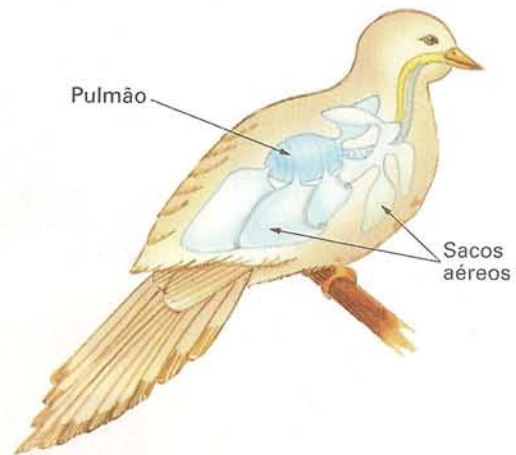
O osso esterno, que une ventralmente as costelas, apresenta nas aves voadoras uma projeção anterior denominada **quilha** ou **carena**. Nela se prendem os potentes músculos peitorais responsáveis pelo batimento das asas: os **pequenos peitorais**, que as levantam, e os **grandes peitorais**, que as abaixam. O bico das aves atuais é desprovido de dentes, o que contribui para a redução de seu peso.



Esquema de esqueleto de ave (cores-fantasia).

Os pulmões são compactos, mas expandem-se em bolsas de ar, os **sacos aéreos**, que preenchem

vários espaços do corpo, penetrando inclusive nos ossos pneumáticos. Os sacos aéreos contribuem para reduzir a densidade das aves, além de servirem como reserva de ar.



Esquema do pulmão e dos sacos aéreos, vistos internamente no corpo da ave e pelo lado direito (cores-fantasia).

Todas as aves são ovíparas, com ovos semelhantes aos dos répteis e que se desenvolvem sempre fora do corpo da fêmea. A oviparidade evita aumento de peso da fêmea, ao contrário do que ocorre com a viviparidade.

A excreta nitrogenada é o ácido úrico, uma adaptação ao tipo de desenvolvimento embrionário e também à redução de peso, como já comentado para os répteis ovíparos. A visão e a audição são bem desenvolvidas nas aves. Além disso, possuem **siringe**, uma estrutura localizada na traquéia e responsável pela emissão de sons.

A pele é seca, sem glândulas, mas na maioria das espécies existe na região caudal uma glândula denominada **glândula uropigiana**, que produz secreção oleosa. Essa secreção é retirada pelo animal com o bico e espalhada sobre as penas para mantê-las flexíveis e impermeáveis.

Apesar de as características das aves atuais estarem relacionadas com o voo, existem exceções: o **quivi** (*Apteryx*), que vive na Nova Zelândia, com asas atrofiadas; o **avestruz**, ave africana que pode chegar a 2,10 m de altura (a maior das aves); o **emu**, da Austrália e Nova Guiné; e a **ema**, ave sul-americana — todos possuem asas reduzidas e não voam. E os **pingüins**, que usam suas asas para o nado.

As aves que voam são chamadas coletivamente **carenatas**, por possuírem carena. Os pingüins, embora não voem, também possuem carena.

As aves que não voam e não nadam, não possuem carena e são coletivamente chamadas **ratitas**.

Ratitas



Fábio Colombini

Fotografia de ema. Mede cerca de 1,50 m de altura.



Cedoc

Fotografia de quivi. Mede cerca de 40 cm de comprimento.

Carenatas



Luciano Candisani

Fotografia de pingüim de Magalhães. Esta espécie às vezes chega até o litoral brasileiro. Medem cerca de 80 cm de altura.



Luciano Candisani

Fotografia de araras-vermelhas. Medem cerca de 60 cm de comprimento.

3. Mamíferos

Os mamíferos surgiram a partir de um grupo de répteis primitivos, no início da expansão dos dinossauros. Eram animais de pequeno porte, que se alimentavam principalmente de insetos. Tinham hábitos noturnos, o que só seria possível se esses animais já fossem endotérmicos. Isso lhes permitiria explorar o ambiente quando os répteis diminuía sua atividade pela ausência do sol para aquecer-lhes o corpo.

Durante toda a Era dos Répteis os mamíferos foram pouco expressivos, diversificando-se somente após a extinção dos dinossauros. É provável que sua sobrevivência no período de baixas temperaturas, que se supõe ter sido uma das causas da extinção dos dinossauros, deva-se ao fato de serem pequenos e endotérmicos.

Após esse período, a fauna de mamíferos expandiu-se muito, ocupando grande diversidade de

ambientes desde as regiões polares até os trópicos.

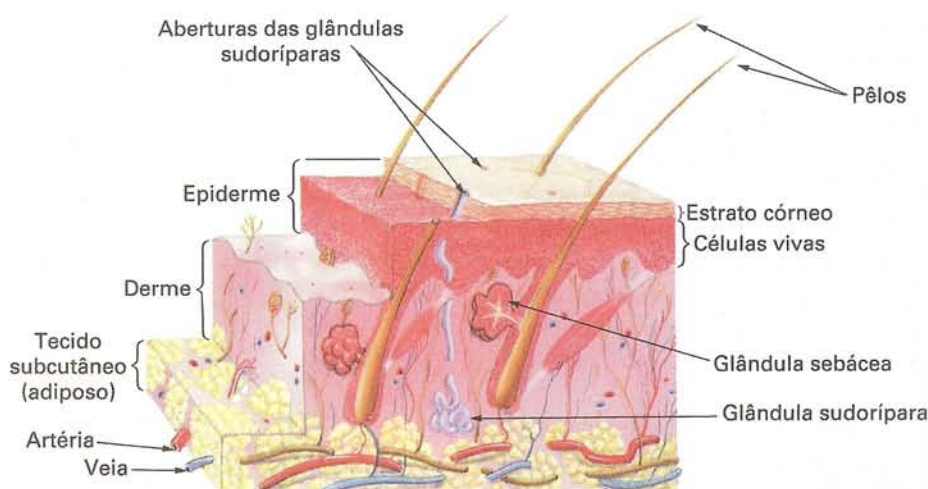
A maioria dos mamíferos é terrestre, como coelhos, gatos, cães, cavalos e o próprio ser humano, mas existem representantes aquáticos, como os golfinhos e as baleias, e espécies adaptadas ao voo, como os morcegos.

Entre os mamíferos existem desde animais de poucos centímetros, como alguns camundongos, até o maior animal da Terra, representado pela baleia azul, que chega a medir 30 m de comprimento.

Os mamíferos receberam esse nome em função da característica mais marcante do grupo: as **glândulas mamárias**. Elas estão presentes em machos e fêmeas, sendo, no entanto, desenvolvidas e funcionais somente nas fêmeas, produzindo o leite do qual os filhotes se alimentam ao nascer.

Além de glândulas mamárias, que são estruturas derivadas da epiderme, esses animais apresen-

tam outras estruturas epidérmicas exclusivas, que são anexos de sua pele: os **pêlos**, as **glândulas sebáceas** e as **glândulas sudoríparas**.



Esquema da estrutura da pele humana feito com base em cortes histológicos analisados ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Os pêlos derivam das escamas do ancestral reptiliano que deu origem aos mamíferos. Cobrem o corpo dos mamíferos e formam uma camada protetora contra a perda de calor para o ambiente, característica importante para um animal endotérmico.

As glândulas sebáceas estão geralmente associadas à base dos pêlos, produzindo uma secreção oleosa que lubrifica os pêlos e a pele.

As glândulas sudoríparas produzem o suor, que, além de outras substâncias, é rico em água e constitui um importante fator no mecanismo de regulação térmica do corpo.

Além dessas glândulas, algumas espécies possuem **glândulas odoríferas**, como é o caso do cangambá ou jaritaca, um carnívoro de ampla distribuição no Brasil. Esse animal possui coloração pre-

ta, com uma faixa branca dorsal dividida longitudinalmente ao meio por uma linha preta. Com cerca de 50 cm de comprimento, defende-se com a eliminação de um líquido nauseante secretado por uma glândula anal. O cangambá não deve ser confundido com o gambá, que é um marsupial.

Sob a pele há um tecido chamado **tela subcutânea** (ou **hipoderme**), rico em fibras colágenas e elásticas e que em muitas linhagens de vertebrados contém a maior parte da reserva de energia do corpo, como óleos e gorduras.

Os estoques de gordura são muito desenvolvidos nos mamíferos, formando o **panículo adiposo**, que atua também como isolante térmico e é bem desenvolvido em animais de clima frio, como focas, leões-marinhos e baleias.

A pele humana

A epiderme da pele humana atua como uma estrutura que protege o corpo contra o atrito, a dessecação e a entrada de microrganismos. Ela possui de dez a trinta camadas celulares que, juntas, têm a espessura aproximada de uma folha de papel.

As células da epiderme são repostas continuamente por mitose principalmente de células do estrato basal, camada celular em contato direto com a lâmina basal. As novas células originadas da reposição são empurradas para a superfície e passam a sintetizar queratina (uma proteína insolúvel em água). Essas células perdem o núcleo e acabam morrendo, formando o estrato córneo, que constitui a camada mais externa da epiderme e que descama aos poucos.

O estrato córneo protege as células vivas das camadas mais internas da epiderme e é mais espesso nas regiões do corpo onde o atrito é maior, como a sola dos pés.

A epiderme apresenta também três outros tipos de célula: as células de Langerhans, as de Merkel e os melanócitos.

As células de Langerhans são ramificadas, apresentam citoplasma claro e encontram-se entre as demais células. Fazem parte do sistema imunitário, identificando e capturando elementos estranhos que entrem em contato com a pele, e apresentando-os aos linfócitos do sangue para serem destruídos.

As células de Merkel são basicamente mecanorreceptoras e estão associadas a terminações nervosas que conduzem o estímulo mecânico ao sistema nervoso. São muito abundantes na epiderme da palma das mãos e na da sola dos pés.

Os melanócitos derivam da crista neural do embrião e invadem a pele entre a 12ª e a 14ª semana de gestação. São células grandes que produzem melanina, pigmento marrom-escuro que tem função protetora contra a ação dos raios ultravioleta. Esse pigmento atua como um dos fatores responsáveis pela cor da pele: quanto maior a quantidade de melanina, mais escura será a pele, ocorrendo o mesmo com os pêlos. Devido a essa característica protetora da melanina contra a radiação, indivíduos de pele muito clara, portanto com pouca melanina, possuem maior sensibilidade aos raios solares.

Os melanócitos emitem prolongamentos em direção à superfície da epiderme. Esses prolongamentos insinuam-se entre as células epiteliais e até introduzem grânulos de melanina no citoplasma dessas células.

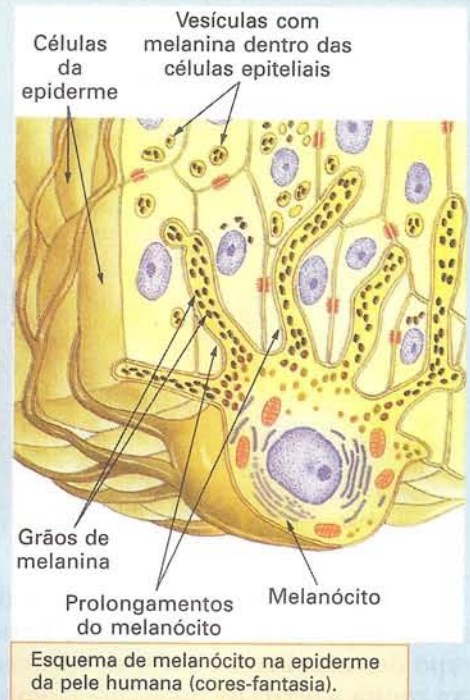
Quando ficamos expostos aos raios solares, nossa pele escurece em função de dois fatores principais:

- os raios solares atuam sobre a melanina já existente e provocam seu escurecimento;
- ocorre a intensificação da síntese de melanina.

Nos casos de albinismo, não há síntese de melanina devido à falta ou à diminuição da atividade de uma enzima chamada tirosinase, que participa desse processo.

A cor da pele também depende de outro pigmento chamado caroteno, que é alaranjado e fica acumulado no tecido adiposo subcutâneo.

Além da melanina e do caroteno, a cor da pele depende ainda da disposição dos vasos sanguíneos. Quanto mais superficiais e dilatados forem os vasos, mais escura será a pele. Em algumas regiões do corpo a influência desses elementos é mais marcante, como ocorre com a cor dos lábios, que é mais escura do que a da face.



Os mamíferos são classificados em três grupos: **Prototheria**, **Metatheria** e **Eutheria**.

3.1. Prototheria ou Monotremata

Mamíferos primitivos, que botam ovos semelhantes aos dos répteis e das aves. São, portanto, ovíparos, cujos embriões se desenvolvem fora do corpo da fêmea.

Estão representados pelo **ornitorrinco** e pela **equidna**, restritos à Austrália e à Nova Guiné.



Fotografia de ornitorrinco. Este animal mede cerca de 70 cm de comprimento.



Fotografia de equidna. Mede cerca de 60 cm de comprimento.

3.2. Metatheria ou Marsupialia

Mamíferos vivíparos, cujos embriões passam por um curto período de gestação no útero da fêmea e nascem sem estar completamente formados. Logo após o nascimento os embriões entram no marsúpio da mãe e aí completam seu desenvolvimento, alimentando-se do leite materno.

Existem atualmente cerca de 280 espécies de marsupiais, restritos à região australiana e ao Novo Mundo. Um dos mais conhecidos é o **canguru**, animal que vive na Austrália e chega a medir cerca de 2 m de altura. No Brasil, os marsupiais mais comuns são o **gambá** e a **cuíca**.



Tony Stone

Fotografia de canguru carregando no marsúpio seu filhote já crescido. Um adulto mede cerca de 2 m de altura.



Juarez Silva

Fotografia de gambá. Este animal mede cerca de 40 cm de comprimento.

3.3. Eutheria

Mamíferos vivíparos que passam por um período de gestação suficientemente longo para nascerem completamente formados. Os eutérios são também chamados **mamíferos placentários**, pois durante o desenvolvimento embrionário forma-se no útero da fêmea a **placenta**, através da qual o embrião recebe nutrientes e oxigênio da mãe. Os metatérios também formam placenta, porém muito reduzida.

Os eutérios são o grupo mais diversificado dos mamíferos, com cerca de 3800 espécies. Apresentamos, a seguir, algumas das ordens de Eutheria:

- **Xenarthra** ou **Edentata**: sem dentes, ou com dentes pouco desenvolvidos. Exemplos: tamanduá, preguiça e tatu;
- **Insectívora**: focinho alongado e pontudo. Alimentam-se principalmente de insetos. Exemplo: toupeira;
- **Carnívora**: dentes caninos bem desenvolvidos, adaptados a rasgar e a perfurar a carne de outros animais que usam como alimento. Exemplos: cachorro, leão, urso, gato, guaxinim, hiena, leão-marinho, morsa, foca;
- **Chiroptera**: membros anteriores modificados em asas: os morcegos;
- **Rodentia**: dois pares de dentes incisivos adaptados para roer alimento. Esses dentes são grandes e crescem continuamente. Exemplos: rato, chinchila, capivara, paca, esquilo;
- **Lagomorpha**: dois pares de dentes incisivos bem desenvolvidos, apresentando atrás dos incisivos superiores um par extra de dentes incisivos pequenos. Exemplos: coelho, lebre;



Felipe F. Curcio

Fotografia de tamanduá-mirim (Edentata ou Xenarthra). Este animal mede cerca de 80 cm de comprimento, sem considerar a cauda.

- **Artiodactyla:** casco na pata. O eixo de suporte do corpo passa entre o terceiro e o quarto dedos da pata. O primeiro dedo não existe e o segundo e o quinto são reduzidos ou ausentes. Exemplos: porco, hipopótamo, veado, camelo, girafa, carneiro, boi;
- **Perissodactyla:** casco na pata. O eixo de suporte do corpo passa através do terceiro dedo. Outros dedos são reduzidos ou ausentes. Exemplos: cavalo, rinoceronte, anta;
- **Cetacea:** mamíferos aquáticos, representados pelas baleias e golfinhos. Possuem membros anteriores transformados em nadadeiras, membros posteriores ausentes e cauda propulsora bem desenvolvida. São excelentes nadadores. Narinas no alto da cabeça, por onde sai o “esguicho” da baleia e do golfinho. Esse “esguicho” se forma no momento em que esses animais expiram: o ar quente, contendo vapores de água, é expelido e condensa ao entrar em contato com o ar externo mais frio;
- **Sirenia:** mamíferos aquáticos, com membros anteriores reduzidos e em forma de nadadeira. Membros posteriores ausentes e cauda propulsora bem desenvolvida. Narinas na face. Exemplo: peixe-boi, que vive nos rios da região amazônica e no litoral do Nordeste;
- **Proboscidea:** tromba ou probóscide, formada pelo grande desenvolvimento do nariz e do lábio superior. Dentes incisivos superiores alongados, denominados presas: os elefantes;
- **Primatas:** mãos e pés com cinco dedos distintos, cabeça em ângulo reto com o pescoço: macaco e ser humano.



Luciano Candiani

Fotografia de golfinho (Cetacea). Mede cerca de 1,30 m de comprimento.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Explique como a estrutura da pele dos répteis contribuiu para o sucesso do grupo no ambiente terrestre.
2. Explique como ocorreu a independência da água para a reprodução no grupo dos répteis, o que foi fundamental para o sucesso do grupo no ambiente terrestre.
3. Relacione o tipo de excreta dos répteis com o desenvolvimento embrionário e a adaptação do adulto ao ambiente terrestre.
4. Conceitue ectotermia e endotermia e compare esses termos com homeotermia e pecilotermia. Dê exemplos de animais ectotermos e de endotermos.
5. Cite, caracterize e exemplifique os grupos de répteis atuais.
6. Cite as características relacionadas com o voo das aves.
7. Cite exemplos de aves que não voam e de aves que nadam.
8. Cite as características gerais dos mamíferos.
9. Cite, caracterize e exemplifique os três grandes grupos de mamíferos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Serpentes peçonhentas do Brasil: reconhecimento e primeiros socorros

É fundamental poder reconhecer esses grupos para prevenir acidentes e saber como agir se eles acontecerem. Procedimentos inadequados podem levar o acidentado à morte.

As cobras peçonhentas que ocorrem no Brasil pertencem a dois grupos: **crotalíneos**, responsáveis por 99% dos acidentes, e **elapíneos**, responsáveis por 1% dos acidentes com cobras peçonhentas.

Crotalíneos

Os crotalíneos apresentam as seguintes características, que os distinguem das demais serpentes:

a) cauda diferenciada do restante do corpo e que pode ser de três tipos, dependendo do gênero:

- cauda lisa, em *Bothrops* (gênero ao qual pertencem as jararacas);
- cauda com escamas arrepiadas, em *Lachesis* (gênero ao qual pertence a surucucu);
- cauda com chocalho, em *Crotalus* (gênero ao qual pertence a cascavel);



Esquema de um representante do gênero *Bothrops*, representado por várias espécies, popularmente conhecidas por jararaca, urutu, cruzeiro, cotiara, entre outras.



Esquema de um representante do gênero *Lachesis*, representado por uma espécie: *L. muta*, conhecida por surucucu.



Esquema de um representante do gênero *Crotalus*, representado por uma espécie: *C. durissus*, conhecida por cascavel.

b) cabeça triangular, recoberta por escamas pequenas; presença de **fosseta loreal**, estrutura localizada entre os olhos e as narinas, com função termorreceptora, que permite aos crotalíneos perceber o calor do corpo de suas vítimas. A presença de fosseta loreal gerou a denominação popular cobras-de-quatro-ventas (*venta* significa narina) desses animais. Isso porque temos a impressão de que esses crotalíneos possuem quatro narinas, uma vez que a fosseta loreal é um orifício semelhante à narina, porém com estrutura e funções distintas; denteção solenóglifa;

c) parte superior do corpo recoberta por escamas sem brilho, em forma de quilha.

Juarez Silva



Fotografia de denteção solenóglifa.

Fábio Colombini



Fotografia de surucucu. Este animal pode atingir 3 m de comprimento.

O veneno das cobras pertencentes ao gênero *Bothrops* tem ação proteolítica, coagulante e hemorrágica; no gênero *Crotalus*, o veneno tem ação neurotóxica, coagulante e miotóxica; e no gênero *Lachesis* tem ação proteolítica, hemorrágica e neurotóxica.

Elapíneos

As serpentes do grupo dos elapíneos são chamadas de corais-verdadeiras e pertencem principalmente ao gênero *Micrurus*. Possuem, em geral, anéis vermelhos no corpo, alternados com anéis de outras cores, como preto e amarelo, embora exista na Amazônia uma espécie de coral-verdadeira que não possui anéis no corpo e tem coloração escura ou preta, às vezes com manchas avermelhadas.

Os elapíneos são cobras peçonhentas que se assemelham muito a outros grupos de cobras de coloração avermelhada e com anéis coloridos no corpo, chamadas de **falsas-corais**. São vários os gêneros e as espécies de falsas-corais, e a distinção entre eles e as corais-verdadeiras é muito difícil.

As corais, verdadeiras ou falsas, possuem corpo recoberto por escamas lisas e brilhantes e cabeça arredondada recoberta por escamas grandes; não possuem fosseta loreal. A fosseta loreal também está ausente nas cobras não-peçonhentas pertencentes a outras espécies.

A principal característica que diferencia corais-verdadeiras de falsas-corais é a denteção: nas corais-verdadeiras a denteção é **proteróglifa**. Esse é o caráter mais confiável para se diferenciar esses animais.

As cobras não-peçonhentas são áglifas ou opistóglifas.

Felipe F. Curcio



Fotografia de falsa-coral. Este animal mede cerca de 25 cm de comprimento.

Felipe F. Curcio



Fotografia de coral-verdadeira. Este animal mede cerca de 50 cm de comprimento.

Apresentamos, a seguir, as principais medidas para prevenir acidentes com cobras e os primeiros socorros a serem oferecidos às vítimas, segundo publicações do Ministério da Saúde e do Instituto Butantã de São Paulo.

Como prevenir acidentes

- Oitenta por cento das picadas atingem as pernas, abaixo dos joelhos. Use botas ou botinas com pedrneiras de couro.
- Dezenove por cento das picadas atingem as mãos ou antebraços. Use luvas de aparas de couro para remexer em montes de lixo, folhas secas, buracos, lenha ou palha. Afaste galhos com um pedaço de pau.
- Cobras gostam de se abrigar em locais quentes, escuros e úmidos. Cuidado ao mexer em pilhas de lenha, palhadas de feijão, milho ou cana. Cuidado ao revirar cupinzeiros.
- Onde tem rato, tem cobra. Não deixe amontoar lixo. Limpe paióis e terreiros. Feche buracos de muros, portas e janelas.
- Atenção ao calçar sapatos e botas. Animais peçonhentos podem se refugiar dentro deles.
- Lembre-se: na natureza não há vilões. Não mate cobras simplesmente por estarem vivas. Elas mantêm o equilíbrio natural, comendo roedores, que transmitem doenças e dão prejuízos nas plantações e paióis.

Instituto Butantã, São Paulo.

Primeiros socorros

- Não se deve amarrar ou fazer torniquete, para isolar o veneno na região atingida. O garrote impede a circulação do sangue, podendo produzir necrose ou gangrena. O sangue deve circular normalmente. Também não se devem colocar na picada folhas, pó de café, terra, fezes, pois podem provocar infecção.
- Não se deve cortar o local da picada. Alguns venenos podem provocar hemorragia. Os cortes feitos no local da picada com canivetes e outros objetos não-desinfetados favorecem as hemorragias e infecções.
- Não se deve permitir que o acidentado beba querosene, álcool, urina ou fumo, pois além de não ajudarem podem causar intoxicação.
- Manter o acidentado deitado em repouso, evitando que ele ande, corra ou se locomova por seus próprios meios. A locomoção facilita a absorção do veneno e, em caso de acidente com jararacas, caíacas, jararacuços etc., os ferimentos se agravam. No caso de a picada ter sido dada em uma perna ou braço, é importante manter esse membro em posição mais elevada.

- Levar o acidentado imediatamente para centros de tratamento ou serviço de saúde mais próximo para tomar o soro específico.

Adaptação de folheto do Ministério da Saúde.

É importante frisar que somente o soro específico cura picada de cobra. Esses soros são:

- antibotrópico, contra veneno das jararacas;
- anticrotálico, contra veneno da cascavel;
- antilaquéutico, contra veneno da surucucu;
- antielapídico, contra veneno das cobras-corais.

- Elabore um folheto de divulgação que poderia ser usado para informar a população sobre como diferenciar os gêneros de serpentes peçonhentas que ocorrem no Brasil, mencionando as principais medidas preventivas e os primeiros socorros.



TESTES

1. (Unicamp-SP) O ornitorrinco e a equidna são mamíferos primitivos que botam ovos, no interior dos quais ocorre o desenvolvimento embrionário. Sobre esses animais, é correto afirmar que:

- diferentemente dos mamíferos placentários, eles apresentam autofecundação.
- diferentemente dos mamíferos placentários, eles não produzem leite para a alimentação dos filhotes.
- diferentemente dos mamíferos placentários, seus embriões realizam trocas gasosas diretamente com o ar.
- à semelhança dos mamíferos placentários, seus embriões alimentam-se exclusivamente de vitelo acumulado no ovo.
- à semelhança dos mamíferos placentários, seus embriões livram-se dos excretas nitrogenados através da placenta.

2. (Unifesp-EPM — mod.) As aves são geralmente chamadas de dinossauros com penas. Tal denominação:

- procede, porque elas surgiram a partir do mesmo grupo ancestral de répteis que originou os dinossauros. Como os dinossauros, as aves possuem ovos com âmnio. Porém, diferentemente deles, elas apresentam, como novidades evolutivas, as penas e a endotermia (homeotermia).
- procede, porque elas surgiram a partir de répteis crocodilianos que, por sua vez, tiveram suas origens entre os dinossauros. As características do coração de crocodilos e de aves são evidências dessa proximidade e dessa descendência.
- procede, porque elas surgiram no mesmo período que os primeiros dinossauros. Um pequeno grupo de anfíbios deu origem aos répteis que resultaram nos mamífe-

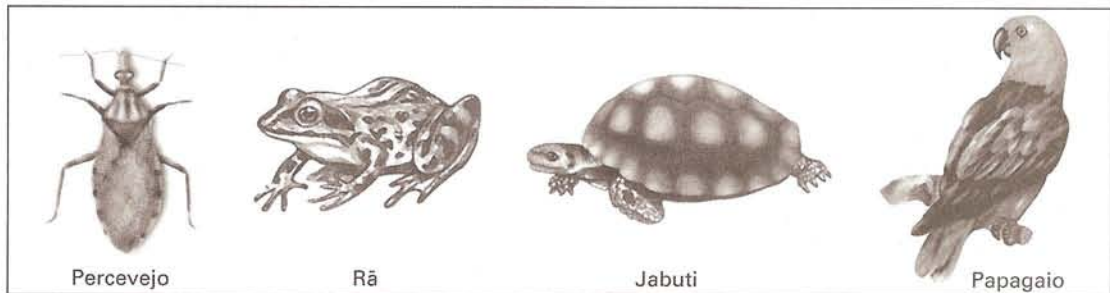
ros e outro grupo maior de anfíbios originou répteis que se diferenciaram em dinossauros e em aves.

- não procede, porque, para isso, elas teriam que ter se originado dos grandes répteis voadores já extintos. O grupo de répteis que originou as aves e os mamíferos ainda hoje é vivente, embora conte com poucos representantes. Sua maior expansão ocorreu na mesma época em que os grandes dinossauros.
- não procede, porque a endotermia e as penas são características muito distintas que afastam qualquer possibilidade de que as aves e os dinossauros possam ter sido aparentados. Além disso, as aves possuem um anexo embrionário a mais, que as diferencia de todos os demais répteis.

3. (UFES) No Pantanal Mato-Grossense, os jacarés aquecem-se ao sol nas margens dos rios durante o dia e, como a água esfria mais lentamente que a terra, submergem à noite. Essa estratégia dos crocodilianos está relacionada ao fato de eles:

- excretarem principalmente uréia, composto nitrogenado com baixa toxicidade que necessita de água para ser eliminado.
- serem ectotérmicos, dependendo de fontes externas de calor para a regulação da temperatura corpórea.
- dependerem da água para a fecundação e o desenvolvimento dos ovos.
- apresentarem o corpo revestido por uma pele grossa, com placas córneas, que evita a dessecação.
- não terem, em seus pulmões, superfície suficiente para uma troca gasosa eficiente, necessitando realizar absorção de oxigênio da água do meio circundante, através da mucosa cloacal.

4. (UFJF-MG) Observe o quadro abaixo:



Esses animais podem ser caracterizados, respectivamente, por apresentarem:

- exoesqueleto quitinoso com ecdises — metamorfose — pele seca e rica em queratina — homeotermia.
- exoesqueleto quitinoso com ecdises — homeotermia — pele seca e rica em queratina — metamorfose.
- metamorfose — pele seca e rica em queratina — exoesqueleto quitinoso com ecdises — homeotermia.
- metamorfose — homeotermia — exoesqueleto quitinoso com ecdises — pele seca e rica em queratina.

5. (UFSCar — mod.) Um animal que possui como características presença de coluna vertebral, fecundação interna com cópula, respiração pulmonar, embrião protegido por ovo de casca dura e temperatura variável com o ambiente deve pertencer ao grupo:

- das aves.
- dos peixes.
- dos répteis.
- dos anfíbios.
- dos mamíferos.

6. (Fuvest-SP) No curso da evolução, os primeiros vertebrados a conquistar efetivamente o ambiente terrestre foram:

- os anfíbios, cujos adultos respiravam por pulmões.
- as aves, que podiam voar por grandes distâncias sobre os continentes.
- os mamíferos marsupiais, cujos embriões se desenvolviam em uma bolsa de pele na barriga da mãe.
- os mamíferos placentários, cujos embriões se desenvolviam no útero materno.
- os répteis, cujos ovos podiam desenvolver-se fora do ambiente aquático.

7. (UEM-PR) Com relação aos animais considerados como Vertebrata, indique o que for correto.

- Aves e mamíferos diversificaram-se após a extinção dos dinossauros e apresentam, hoje, características em comum, como as estruturas dérmicas, representadas pelas glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas.
- Os anfíbios evoluíram a partir de peixes sarcopterígeos; desde que surgiram, são predadores, caçando insetos, minhocas e outros invertebrados.
- As cobras ingerem suas presas inteiras, sem usar os dentes na mastigação. Após ingerir a presa, o corpo da cobra dilata-se muito, o que é possível devido a fatores como: ter o estômago e a parede do corpo extremamente elásticos e não apresentar o osso esterno unido as costelas na região ventral; suas costelas são fixas apenas à coluna vertebral.
- O surgimento das mandíbulas, manipuladas por músculos e associadas a dentes, foi uma grande inovação durante a história evolutiva dos vertebrados, permitindo explorar novas fontes de alimento.

16) O homem, bem como todos os mamíferos Eutheria, são chamados placentários. Durante o desenvolvimento embrionário, forma-se uma placenta, através da qual o embrião recebe nutrientes da mãe.

32) As aves, que surgiram de um grupo de dinossauros bípedes, apresentam como características atuais a presença de penas, formadas por queratina, que possuem propriedade de isolante térmico.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

8. (PUC-RS) A ilustração representa um dos mascotes da Olimpíada de Sydney 2000. Analise as afirmações relacionadas a esse animal.



- É um mamífero.
- Bota ovos com casca.
- É cordado.
- É vertebrado.
- É placentário.

Estão corretas:

- todas.
- apenas I, II, III e IV.
- apenas II, IV e V.
- apenas I, II e III.
- apenas I, III, IV e V.

9. (UFMT) Os conhecimentos acerca dos animais contribuem significativamente para que o homem compreenda a si mesmo e seu ambiente. Considerando as informações acumuladas sobre esses organismos, julgue os itens:

- As aves aquáticas normalmente apresentam glândula uropigial, cuja secreção é utilizada na impermeabilização das penas.
- Os platelmintos apresentam sacos aéreos especializados nas trocas gasosas.
- Os gambás são exemplos de mamíferos, cujo feto imaturo completa o seu desenvolvimento no interior do marsúpio da fêmea.
- Os insetos realizam a excreção por intermédio das glândulas verdes, localizadas na base do segundo par de patas.

10. (UFSM-RS) As equidnas e os ornitorrincos são, respectivamente:

- a) prototérios e placentários verdadeiros, os dois colocam ovos e não amamentam os filhotes.
- b) marsupiais e placentários verdadeiros, os dois colocam ovos e não amamentam os filhotes.
- c) marsupiais e prototérios, apenas os primeiros colocam ovos, apenas os segundos amamentam os filhotes.
- d) prototérios e prototérios, os dois colocam ovos, os dois amamentam os filhotes.
- e) marsupiais e marsupiais, os dois não colocam ovos, os dois amamentam os filhotes.

11. (UFRS) Leia o texto abaixo.

“Pouca gente se dá conta de que o litoral sul do Brasil, em especial Santa Catarina, é uma das áreas mais importantes em todo o planeta para a reprodução das baleias.

É aqui que a Baleia Franca, um gigante pacífico e ameaçado de extinção, vem ter seus filhotes e amamentá-los, de maio a outubro (com o maior número de avistagens de baleias com filhotes em agosto/setembro).” (Folheto do Projeto Baleia Franca. IWC/Brasil, WDCS. Florianópolis, SC.)

Considere os itens abaixo, que apresentam possíveis características do grupo a que pertencem os animais acima citados.

- I — respiração pulmonar
- II — pecilotermia
- III — fecundação interna
- IV — ausência de diafragma

Quais estão corretos?

- a) Apenas I e II.
- b) Apenas I e III.
- c) Apenas II e III.
- d) Apenas III e IV.
- e) Apenas I, II e IV.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFJF-MG) “Os jabutis (Réptil — Quelônio), no Sudeste do Brasil, são ativos na estação quente e chuvosa, permanecendo praticamente imóveis na estação fria e seca.”

- a) Que tipo de regulação térmica possuem os jabutis?
- b) Considerando a relação existente entre a regulação térmica e o metabolismo, explique o comportamento dos jabutis nas diferentes estações climáticas do Sudeste do Brasil.
- c) A pele dos répteis é uma superfície adaptada à troca de gases? Justifique sua resposta.
- d) Um aspecto curioso do comportamento dos répteis, especialmente de alguns lacertídeos (lagartos e lagartixas), é a autotomia. O que é a autotomia e qual a sua finalidade?

2. (Unicamp-SP) Nas aves, a aquisição evolutiva de penas foi um passo importante para o voo.

- a) Cite duas outras características que permitiram às aves aprimorar sua capacidade de voo.
- b) Além do voo, dê outra função das penas.
- c) Que estrutura dos mamíferos é homóloga às penas? Explique.

3. (UFGO) “(...) já começavam a sobrevoar a ala dos estropiados quando o General mandou que acampassem.” Alguns animais do grupo das Aves e dos Artrópodes possuem a capacidade de sobrevoar grandes distâncias.

- a) Cite duas adaptações evolutivas que facilitam o voo das Aves.
- b) Relacione a capacidade de voo de alguns Artrópodes com a disseminação de doenças. Exemplifique.

4. (Vunesp-SP — mod.) De modo geral, o período normal de gestação de um mamífero está diretamente relacionado ao tamanho do corpo. O período de gestação do elefante, por exemplo, é de 22 meses, o do rato doméstico apenas 19 dias. O gambá, entretanto, que tem tamanho corporal maior que o do rato doméstico, tem um período de gestação de apenas 13 dias e seus filhotes nascem muito pequenos, se comparados com os filhotes do rato. Considerando estas informações, responda: por que o gambá, de maior porte que o rato, tem período de gestação menor? Justifique.



Sustentação, digestão e respiração

1. Noções gerais

Neste capítulo iniciaremos o estudo da anatomia e da fisiologia comparadas dos vertebrados, abordando alguns aspectos não tratados nos capítulos anteriores. Antes, porém, é conveniente analisarmos um importante fenômeno fisiológico: a **homeostase**.

Os organismos multicelulares são, na sua grande maioria, uma reunião de sistemas intimamente integrados, que interagem de forma harmônica e eficiente. Cada sistema contribui para o bom desempenho

dos demais, de modo que a deficiência de um pode comprometer o funcionamento do organismo todo.

Essa interação dos diferentes sistemas possibilita aos animais manterem, dentro de certos limites, um meio interno constante, tanto em composição química quanto em ritmo de atividade. Esse equilíbrio dinâmico entre as funções do organismo é denominado **homeostase** (do grego *hómoios* = igual; *stásis* = permanente).

2. Sustentação e locomoção: sistemas esquelético e muscular

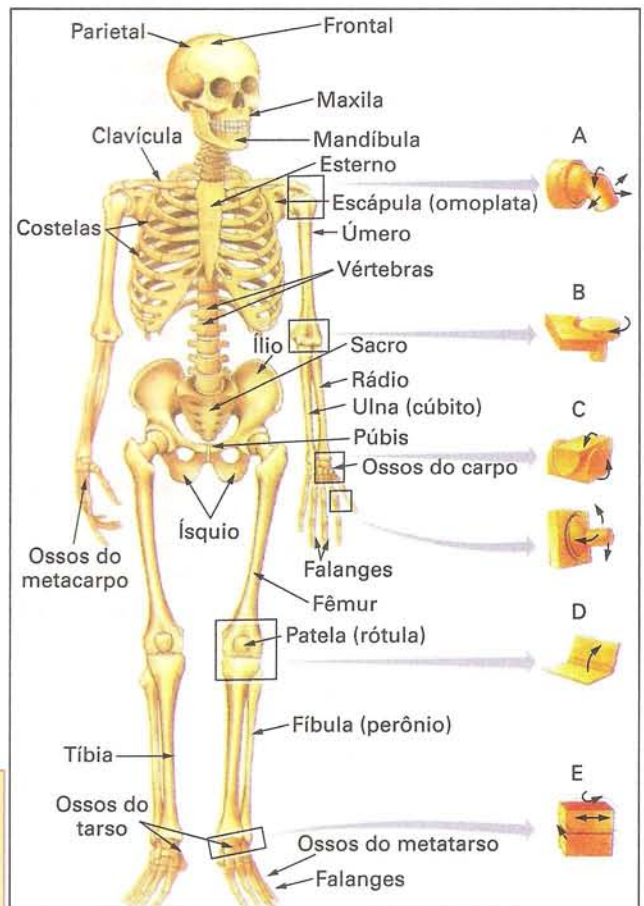
O sistema esquelético dos vertebrados tem as funções de sustentação, de proteção de órgãos internos, de armazenamento de minerais e íons e de produção de células sanguíneas. Junto com o sistema muscular, ele participa da locomoção do animal.

O crânio é a estrutura mais complexa do esqueleto e apresenta muitas das características consideradas importantes na evolução dos vertebrados.

A coluna vertebral (ou coluna espinhal ou ainda coluna espinal) dá sustentação ao corpo e é formada pelas vértebras, que se alternam com discos intervertebrais, os quais permitem certa flexibilidade ao tronco.

Muitas mudanças evolutivas ocorreram no esqueleto apendicular, como discutido nos capítulos anteriores. Vimos, por exemplo, que os membros dos tetrápodes derivaram de nadadeiras lobadas de certos peixes.

O **sistema esquelético** característico da espécie humana está representado de forma simplificada na figura ao lado.

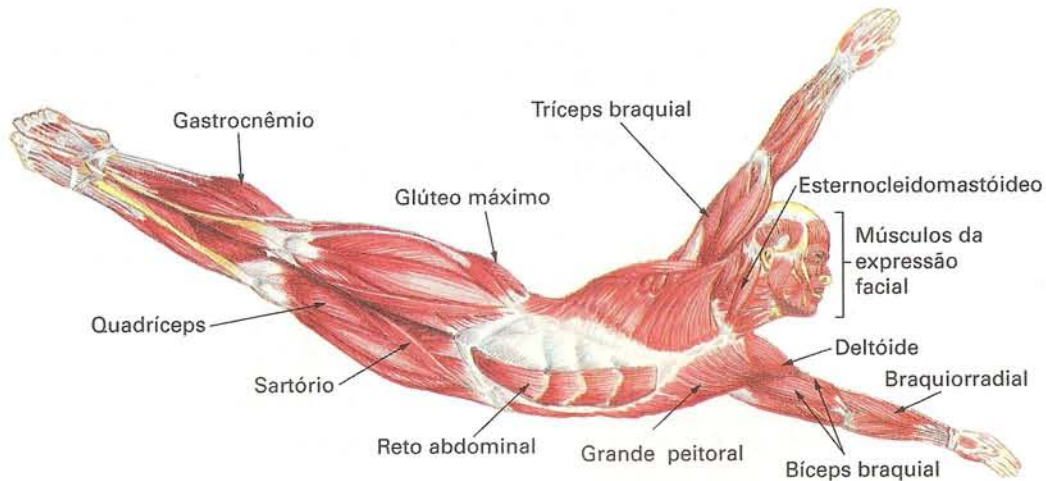


Esquema de alguns ossos do sistema esquelético humano mostrando diferentes tipos de articulações. **A:** movimento em todas as direções (ombros e quadril); **B:** movimento de rotação quando o pulso é girado (cotovelo); **C:** movimento apenas em algumas direções; **D:** movimento imitando dobradiça (joelho); **E:** movimento de rotação em um só plano (tornozelo).

Os ossos podem se unir a outro osso ou a outros ossos por meio de **articulações**, como as especificadas na figura anterior.

O sistema esquelético fornece um suporte para a atuação da musculatura; músculos, tendões e ossos trabalham em conjunto nos pontos onde existem articulações, produzindo diversos tipos de movimentos.

A organização do sistema muscular humano está representada na figura a seguir, em que são nomeados apenas alguns músculos.



Representação de alguns músculos do sistema muscular humano (cores-fantasia).

Nos tetrápodes, músculos individuais diferenciam-se em várias direções, geralmente ficando com aspecto segmentado apenas os músculos do abdome. Os peixes preservam muito mais a segmentação da musculatura, reflexo da metameria do embrião.

Os músculos esqueléticos estão adaptados à realização de movimentos descontínuos, pois não estamos sempre usando os mesmos músculos e sem-

pre com a mesma intensidade. Assim, as células musculares esqueléticas são solicitadas a entrar em ação de forma descontínua. Para isso, possuem adaptações especiais que lhes possibilitam sair do repouso para o exercício de forma muito rápida. Nenhum outro tecido apresenta variações tão grandes e abruptas no gasto de ATP (trifosfato de adenosina ou adenosina trifosfato).

Fontes de energia para a atividade muscular

São basicamente quatro os processos existentes nessas células, os quais fornecem energia para o trabalho muscular: reserva de ATP, reserva de fosfocreatina, fermentação láctica e respiração aeróbia. Esses sistemas são acionados em seqüência e solicitados na maioria das atividades físicas, de modo que o fornecimento de energia seja contínuo, ou seja, uma fonte é acionada antes que a anterior se esgote. A contribuição efetiva de cada uma delas varia em função da intensidade e da duração do exercício.

As células musculares esqueléticas já possuem uma reserva de ATP, que é a primeira a ser utilizada na contração muscular. Essa reserva, no entanto, só é capaz de fornecer energia para cerca de 1 a 2 segundos de atividade muscular intensa. Prosseguindo a atividade física, a reserva de fosfocreatina é acionada.

A fosfocreatina é um composto altamente energético, que cede seu radical fosfato para o ADP (adenosina difosfato), formando ATP. Ela é sintetizada a partir da creatina e de ATP nos momentos de repouso do músculo.

As reservas de ATP e de fosfocreatina nos músculos esqueléticos constituem um suprimento imediato de energia para a contração muscular, suficiente para esforços máximos de cerca de 6 a 8 segundos. Sua utilização não depende da respiração, ou seja, é estritamente anaeróbia, pois essas substâncias já se encontram prontas na célula para serem usadas. Numa corrida de 100 metros rasos, num nado rápido de 25 metros, num salto em altura, por exemplo, essas são as principais fontes de energia para a atividade muscular.

Se o trabalho muscular continuar, outras fontes de energia passam a ser empregadas pelas células. O próximo suprimento a ser utilizado é o glicogênio armazenado nas células musculares.

O glicogênio é convertido em glicose, que inicialmente é degradada de forma anaeróbia, pois a oferta de oxigênio pela circulação não aumenta de modo imediato e proporcional à necessidade da célula. Apesar de as células esqueléticas possuírem **mioglobina**, um tipo especial de pigmento vermelho análogo à hemoglobina e que serve de depósito de oxigênio nos músculos, essa reserva é pequena perto da necessidade imediata.

O glicogênio é rapidamente consumido, e a energia é utilizada para exercícios intensos com duração de cerca de 1 a 2 minutos. A glicose degradada por fermentação láctica produz lactato, que sai da célula muscular e passa para o sangue, sendo absorvido principalmente pelo fígado, onde é convertido em glicose.

À medida que os sistemas respiratórios e circulatórios são ativados, chega ao músculo maior quantidade de oxigênio. Inicia-se, então, a formação de ATP pela respiração aeróbia, em que a glicose é degradada completamente em CO_2 e água.

Paralelamente, o fornecimento de ácidos graxos para o sistema muscular aumenta. Isso ocorre porque na atividade física há liberação de adrenalina, que age sobre o tecido adiposo estimulando a degradação dos lipídios aí armazenados. Ácidos graxos são liberados e levados pela corrente sanguínea até os músculos. Assim, à medida que a reserva de glicogênio diminui, a degradação aeróbia dos ácidos graxos assume importância crescente. Essa é a situação que se verifica em corridas de longa distância, no ciclismo, em maratonas etc.

A tabela a seguir mostra alguns exemplos de atividade física e os principais sistemas energéticos empregados na contração muscular.

Atividade física	Sistema energético
Corrida de 100 metros, salto, levantamento de peso	Principalmente ATP e fosfocreatina
Corrida de 200 metros	ATP, fosfocreatina e glicogênio-lactato
Corrida de 400 metros, nado de 100 metros	Principalmente glicogênio-lactato
Corrida de 800 metros, nado de 200 metros	Glicogênio-lactato e sistema aeróbio
Maratona, caminhada	Sistema aeróbio

Quando se realizam exercícios físicos extenuantes, o oxigênio pode se tornar insuficiente para a atividade muscular aeróbia, situação em que a célula passa a realizar fermentação láctica.

3. Digestão: sistema digestório

O sistema digestório tem como funções básicas a **ingestão** e a **digestão** dos alimentos, a **absorção** dos nutrientes e a **eliminação** dos restos não-digeridos ou não-absorvidos.

A água e os sais minerais não sofrem digestão, mas são absorvidos juntamente com os produtos do processo digestório.

A digestão nos vertebrados é sempre extracelular e envolve fenômenos **físicos** e **químicos**.

Os processos físicos promovem a fragmentação e a movimentação do alimento, aumentando sua superfície de contato com as enzimas digestivas, o que facilita a digestão. Um exemplo de processo físico é a **mastigação**, presente principalmente em mamíferos, em que os dentes reduzem os alimentos a pedaços cada vez menores, facilitando a ação da saliva. Outro processo físico é o **peristaltismo** ou **movimento peristáltico**, que promove a mistura do alimento com os sucos digestivos e contribui para a condução da massa alimentar ao longo do tubo digestório.

Os processos químicos transformam o alimento em compostos mais simples, tornando possível sua absorção. Desse processo participam as **enzimas digestivas**, produzidas pelas próprias paredes do estômago e do intestino ou por glândulas especiais

(glândulas salivares e pâncreas) associadas ao sistema digestório.

O alimento é ingerido pela **boca**, que em alguns vertebrados participa da digestão química e física. Após a ingestão, o alimento passa pela **faringe** e pelo **esôfago**, que o conduz até o **estômago**, outro local onde ocorre a ação de enzimas digestivas. Do estômago o alimento passa para o **intestino**, onde continua a digestão química e há absorção dos produtos resultantes. Na parte final do intestino os produtos não-digeridos ou não-absorvidos são retidos e depois eliminados como fezes pelo **ânus** ou pela **cloaca**.

A seguir apresentamos, de modo comparativo, uma descrição das principais características dessas estruturas nos diferentes grupos de vertebrados.

3.1. Boca

Os mamíferos em geral mastigam os alimentos antes da deglutição, o que não ocorre com a grande maioria dos outros vertebrados. Peixes não possuem **glândulas salivares**, que só passam a existir nos tetrápodes, com a função primária de umedecer o alimento. Secreções contendo enzimas digestivas ocorrem em vários vertebrados, como mamíferos, muitas aves e alguns anuros.

A língua auxilia a movimentação do alimento dentro da boca, o que facilita os processos de digestão e deglutição. Nos anuros, em muitas salamandras e em alguns lagartos (como os camaleões), a língua auxilia também na captura do alimento.

3.2. Faringe

A faringe é uma região dilatada localizada na região anterior do trato digestório, comunicando a cavidade bucal com o esôfago.

Nos animais em que as fendas faringianas persistem nas larvas ou nos adultos, elas são associadas com as brânquias, como ocorre em peixes (exceto nos pulmonados) e larvas de anfíbios. Nesses casos, a faringe participa também da função respiratória.

Nos demais vertebrados, a faringe não desempenha essa função no adulto. Nesses casos, ela é separada das cavidades nasais pelas **coanas** e da laringe pela **glote**.

3.3. Esôfago

Estrutura tubular que conduz o alimento até o estômago por meio de movimentos peristálticos. Em muitas aves o esôfago apresenta uma dilatação, formando o **inglúvio (papo)**, onde o alimento é armazenado e amolecido. Nos mamíferos o esôfago percorre

o tórax e atravessa o **diafragma**, estrutura muscular exclusiva desse grupo animal e que participa dos movimentos respiratórios.

3.4. Estômago

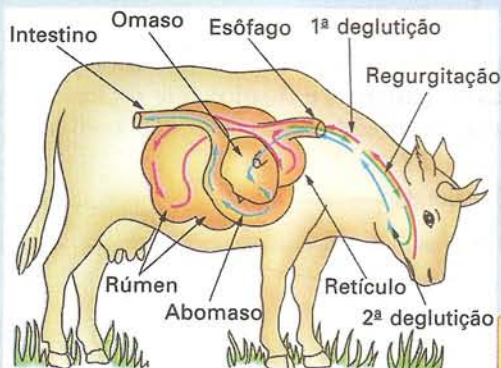
O estômago é separado do esôfago pelo **esfíncter da cárdia**, e do intestino pelo **esfíncter pilórico (piloro)**. Essas estruturas atuam como válvulas, mantendo o alimento dentro do estômago. A cárdia impede o refluxo do alimento para o esôfago, e o piloro controla a passagem do alimento para o intestino e impede o seu retorno.

As dimensões e a estrutura do estômago estão relacionadas com a dieta do animal. Vertebrados que se alimentam de fluidos têm estômago reduzido, como ocorre em certas aves que se alimentam de néctar, ou ausente, como nos ágnatos.

Em muitas aves, especialmente nas que se alimentam de grãos e sementes, o estômago é dividido em dois compartimentos: o químico e o mecânico. No **estômago químico** há produção e liberação de enzimas digestivas, que atuam na transformação dos alimentos em substâncias mais simples e absorvíveis; o **estômago mecânico** ou **moela** é uma estrutura muito musculosa que atua fragmentando os alimentos duros. Na moela podem ser encontradas pedras ingeridas pelo animal, que contribuem para a trituração do alimento.

O estômago dos ruminantes

Os mamíferos ruminantes, como bois e cabritos, possuem estômago grande e subdividido em quatro compartimentos: **rúmen** ou **pança**; **retículo** ou **barrete**; **omaso** ou **folhoso**; e **abomaso** ou **coagulador**.



Esquema do trajeto dos alimentos em ruminantes (cores-fantasia).

No estômago dos ruminantes, o alimento ingerido praticamente sem mastigação entra primeiro no rúmen e depois no retículo. Nesses dois compartimentos, as plantas ingeridas são amassadas por ação da musculatura do estômago e ocorre a digestão da celulose por microrganismos (bactérias e protozoários) que vivem nesses compartimentos do estômago. Parte da celulose digerida é absorvida no rúmen.

Periodicamente o alimento presente no retículo é ruminado, ou seja, é regurgitado, voltando à boca, onde é mastigado e novamente deglutido, caindo diretamente no omaso. Do omaso o alimento passa direto para o abomaso, onde ocorre a parte da digestão que se dá por ação de enzimas produzidas pelo estômago do ruminante.

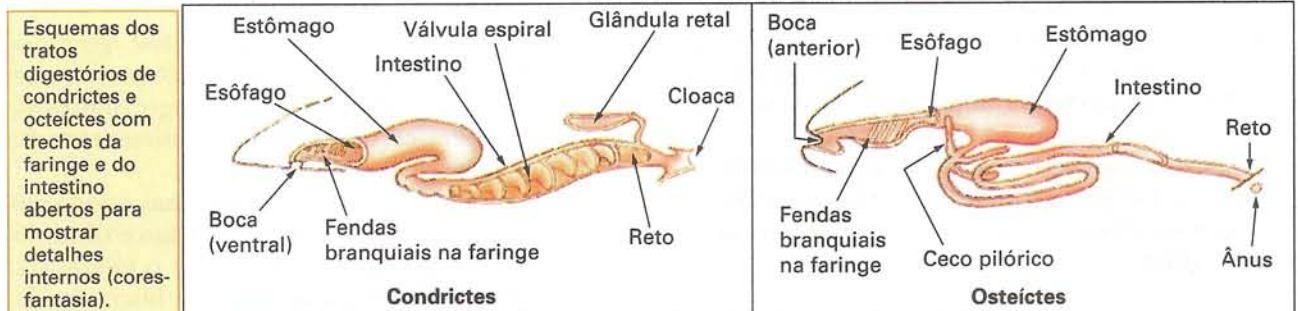
3.5. Intestino

No intestino ocorre a etapa final da digestão e também a absorção de água, sais minerais e produtos da digestão. Ele é constituído de um tubo cujo comprimento varia nos diferentes grupos animais, de acordo com o tipo de alimentação. Nos herbívoros o intestino é longo, propiciando melhor aproveitamento dos nutrientes resultantes da lenta e difícil digestão dos alimentos vegetais. Nos carnívoros é relativamente curto, e nos onívoros seu comprimento é intermediário.

O intestino pode ser um tubo uniforme,

como em certos peixes, ou dividido em duas partes, como nos tetrápodes: uma parte anterior, o **intestino delgado**, e uma posterior, o **intestino grosso**.

Nos peixes existem estruturas especiais que aumentam a superfície de absorção dos alimentos: nos condrites e em peixes pulmonados há no interior do intestino uma prega que forma a **válvula espiral**; nos peixes de nadadeiras raiadas (actinoptérigeos) existem projeções da parede do intestino adjacente ao estômago, chamadas **cecos pilóricos**.



Nos demais vertebrados, o aumento da superfície de absorção se deve a um grande número de vilosidades intestinais e microvilosidades das membranas das células da parede do intestino, especialmente desenvolvidas nos mamíferos. No ser humano, por exemplo, a área total do intestino equivale à área de uma quadra de basquete.

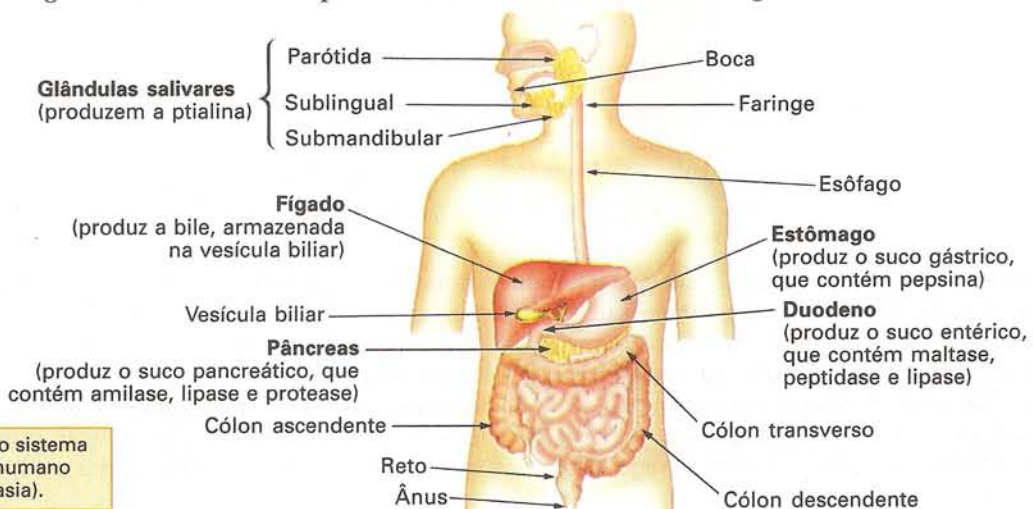
As **fezes** acumulam-se na porção final do intestino e são eliminadas através do ânus ou da cloaca.

3.6. Ânus e cloaca

Na maioria dos peixes ósseos e dos mamíferos o intestino abre-se para o exterior do corpo através de um orifício próprio, o **ânus**. Nos peixes cartilaginosos, anfíbios, répteis, aves e mamíferos monotremados, o intestino e os dutos geniturinários abrem-se numa cavidade interna única chamada **cloaca**, e esta se abre para fora do corpo através do orifício ou fenda cloacal.

3.7. Digestão no ser humano

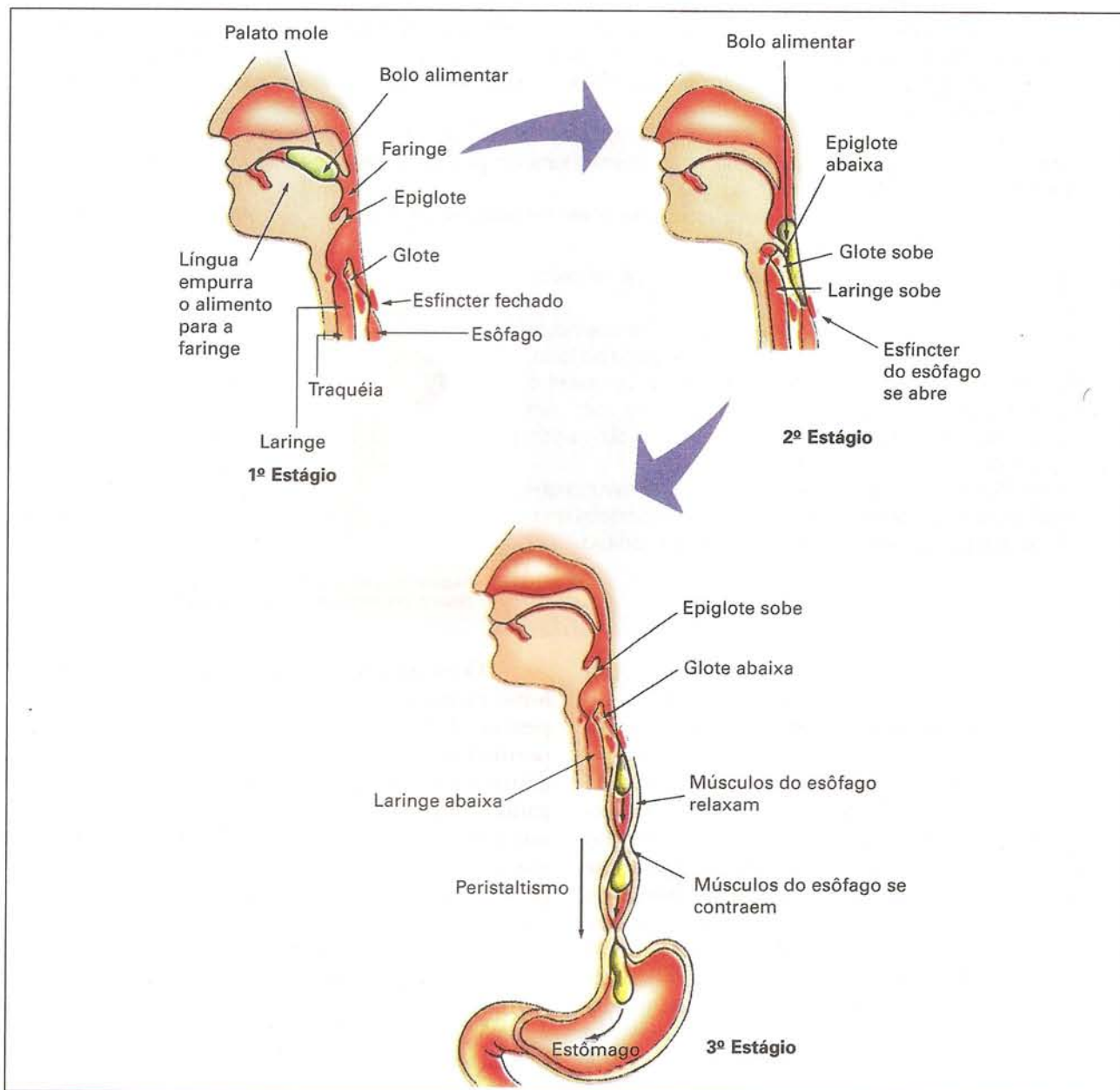
O sistema digestório humano é formado por um longo tubo de cerca de 9 m de comprimento e de glândulas anexas (glândulas salivares, pâncreas e fígado). Ele está esquematizado na figura a seguir, onde se destacam algumas das substâncias produzidas e relacionadas com a digestão:



Esquema do sistema digestório humano (cores-fantasia).

A digestão no ser humano inicia-se na boca com a mastigação e a atividade da **amilase salivar** ou **ptialina** (enzima digestiva contida na saliva), que atua sobre polissacarídeos, como o amido, degradando-os em oligossacarídeos e no dissacarídeo **maltose**. A ptialina é produzida pelas glândulas salivares, que se abrem na boca. Nessas glândulas também há produção de sais que, juntamente com a ptialina, compõem a saliva. Esses sais deixam o pH na boca entre 6 e 7, que é adequado para a atuação da ptialina.

A massa formada pelo alimento mastigado e insalivado é chamada **bolo alimentar**. Por ação da língua, esse bolo é empurrado para a **faringe**, de onde passa para o **esôfago** e deste para o **estômago**. Esse processo de passagem do bolo alimentar da boca até o estômago denomina-se **deglutição**, processo que depende da movimentação da língua e dos **movimentos peristálticos** da faringe e do esôfago. Em uma pessoa adulta a faringe é um tubo de cerca de 13 cm de comprimento e o esôfago, um tubo de cerca de 25 cm de comprimento.



Esquema em cores-fantasia que mostra os três estágios da deglutição, vistos por meio de cortes longitudinais medianos ao corpo: 1º) **estágio voluntário**: quando o alimento está pronto para ser ingerido, a língua faz, voluntariamente, com que ele seja conduzido para a faringe; 2º) **estágio involuntário na faringe**: a laringe, que faz parte do sistema respiratório, é fechada pela ação da epiglote e da glote, e o alimento passa para o esôfago por meio de uma rápida onda peristáltica da faringe; 3º) **estágio involuntário no esôfago**: o bolo alimentar é conduzido até o estômago pelos movimentos peristálticos do esôfago.

Engasgar pode matar

Estima-se que cerca de 10 mil pessoas morram por ano nos Estados Unidos (onde existem estatísticas a respeito do assunto) em decorrência de engasgamento, seguido de sufocamento.

O ato de engolir é extremamente complexo, embora não percebamos isso. Na deglutição, a glote, que é a entrada da laringe, sobe, e a epiglote, que atua como válvula entre o esôfago e a laringe, fecha a entrada da laringe, fazendo com que o alimento passe para o esôfago. Quando respiramos, a epiglote e a glote deixam aberta a passagem da laringe, e o ar passa da região bucal para a laringe e desta para a traquéia.

Entretanto, ocasionalmente as pessoas podem engasgar, ou seja, a epiglote não atua de modo adequado e, em consequência, o alimento passa para a laringe e bloqueia a entrada de ar. Tossir geralmente resolve o problema, mas às vezes a pessoa não tosse e fica sufocada; então, se não for socorrida a tempo, pode morrer.

Esse sufocamento é mais comum em crianças muito pequenas, que as mães deixam mamando sozinhas no berço ou que, após a mamadeira, são colocadas deitadas de costas. Essas crianças, se engasgarem, podem não conseguir fazer com que o alimento saia da laringe e passe para o esôfago, e podem morrer sufocadas se não forem atendidas a tempo. Para evitar esses problemas, recomenda-se que bebês sejam colocados de lado ou de bruços no berço.

Pessoas que abusam de bebidas alcoólicas também podem sofrer esse tipo de sufocamento, pois o reflexo de engolir fica prejudicado. Tumores no cérebro também podem afetar a capacidade normal de deglutir, aumentando os riscos de acidente.

Alguns procedimentos de emergência devem ser tomados ao se verificar que uma pessoa se encontra seriamente engasgada:

- Bata fortemente nas costas dessa pessoa com as mãos abertas.
- Se isso não der resultado, fique por trás da vítima e passe os braços pela cintura dela, como mostra a figura ao lado. Aperte o corpo da vítima com força e com movimentos rápidos, para fazer com que o ar do pulmão saia com força suficiente e empurre o alimento que está obstruindo a passagem.
- Se em 20 segundos a pessoa não reagir, é necessário que seja feita a ressuscitação cardiovascular por pessoas qualificadas e que se procure socorro médico imediato.



Representação esquemática de como se deve proceder com pessoa engasgada.

A ligação do esôfago com o estômago é feita por meio de um esfíncter muscular chamado **esfíncter da cárdia**, que impede o retorno do alimento para o esôfago. No estômago, o alimento sofre a ação da **pepsina**, enzima digestiva produzida por glândulas da parede do estômago, que atua sobre as proteínas, transformando-as em moléculas menores, como os **peptídeos**. Glândulas da parede do estômago também produzem o **ácido clorídrico** (HCl), responsável pelo pH ácido necessário à atuação da pepsina. Esse ácido também atua de modo a matar microrganismos que são ingeridos juntamente com o alimento. No estômago também há produção de muco, que protege as paredes desse órgão contra a ação do suco gástrico, formado pelo HCl, pela pepsina e por outros componentes.

A transformação química que ocorre no estômago denomina-se **quimificação**, processo que transforma o bolo alimentar em outra massa, denominada **quimo**.

O estômago é um órgão que tem forma e volume variáveis, mas sua capacidade média em uma pessoa adulta é de cerca de 2 litros. Os movimentos peristálticos do estômago facilitam a atuação do suco gástrico e empurram o quimo para o intestino delgado. Entre o estômago e o intestino delgado existe um esfíncter muscular chamado **esfíncter pilórico**, que mantém o alimento no estômago por mais tempo e impede o retorno do alimento parcialmente digerido que já passou para o intestino delgado.

O comprimento do intestino delgado varia muito, tendo cerca de 6 m de comprimento e 4 cm de diâmetro em uma pessoa adulta. Ele é dividido em três regiões: o **duodeno**, região mais anterior e que mede cerca de 25 cm de comprimento em um adulto; o **jejuno**, região mediana e que mede cerca de 4,5 m; e o **íleo**, região posterior e que mede cerca de 1,5 m.

A parede do duodeno produz enzimas digestivas, e nessa região do intestino delgado desembocam

canais provenientes de dois importantes órgãos que são exclusivos dos vertebrados: o **fígado** e o **pâncreas**.

A estrutura do **fígado** é de uma glândula tubular composta modificada. Esse órgão pesa aproximadamente 1,5 kg, sendo a maior glândula do corpo humano. Ele desempenha várias funções, tais como armazenamento de glicogênio, síntese de uréia a partir de amônia e CO_2 , degradação de álcool e outras substâncias tóxicas e degradação de hemácias envelhecidas, sendo que a função relacionada com a digestão se refere à produção de **bile**. Esta pode ser armazenada na **vesícula biliar**, estrutura que em uma pessoa adulta mede cerca de 10 cm de comprimento por 3,5 cm de largura, mas que é ausente em alguns grupos de vertebrados.

A bile é liberada no duodeno e é formada em parte por resíduos do metabolismo do colesterol e da degradação de hemácias, e por bicarbonato, e em parte por substâncias que emulsionam gorduras. A bile não contém enzimas digestivas, mas sua função na digestão é muito importante, pois emulsiona as

gorduras, reduzindo-as a diminutas gotas suspensas, o que facilita a ação de enzimas digestivas.

O **pâncreas** de uma pessoa adulta tem cerca de 15 cm de comprimento, 4 cm de altura e 2 cm de espessura. Essa glândula produz bicarbonato e várias enzimas digestivas que são liberadas no duodeno. O bicarbonato liberado pelo pâncreas e pelo fígado torna o pH básico nessa região do intestino, o que é importante para a atividade das enzimas digestivas que atuam nessa região do tubo digestório.

O pâncreas também participa de outras funções não-relacionadas com a digestão. Nele há produção dos hormônios **insulina** e **glucagon**, que participam do controle da glicose no sangue. A insulina reduz e o glucagon aumenta o nível dessa substância no sangue.

No duodeno, portanto, ocorre o processo final de digestão. No jejuno e no íleo ocorre 90% da absorção dos nutrientes.

As enzimas produzidas pelo pâncreas e pelo duodeno atuam em pH básico e estão exemplificadas na tabela a seguir:

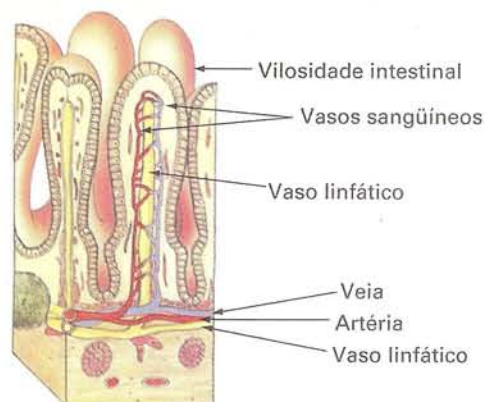
Enzimas	Local de produção	Substrato
Amilase pancreática	Pâncreas	Atua sobre amido e dextrinas, originando maltose, continuando a digestão iniciada na boca.
Proteases: tripsina e quimiotripsina	Pâncreas	Atuam sobre proteínas não-digeridas no estômago, transformando polipeptídeos em peptídeos.
Protease: carboxipeptidase	Pâncreas	Atua sobre peptídeos, transformando-os em aminoácidos.
Lipase pancreática	Pâncreas	Atua sobre gorduras, transformando-as em ácidos graxos e glicerol.
Maltase	Intestino delgado	Atua sobre maltose, degradando-a em glicose.
Dipeptidase	Intestino delgado	Atua sobre dipeptídeos, transformando-os em aminoácidos.
Nuclease	Intestino delgado	Atua sobre ácidos nucléicos, transformando-os em nucleotídeos.
Lactase	Intestino delgado	Atua sobre lactose, originando galactose e glicose.
Sacarase	Intestino delgado	Atua sobre sacarose, originando frutose e glicose.
Lipase intestinal	Intestino delgado	Atua sobre gorduras, originando ácidos graxos e glicerol.

A transformação final do alimento que ocorre no intestino delgado denomina-se **quilificação**, processo que transforma o quimo em outra massa denominada **quilo**. Este contém os produtos finais da digestão, além de água e sais minerais, que não sofrem digestão.

Grande parte dos produtos finais da digestão, da água e dos sais minerais é absorvida no intestino delgado.

Os produtos finais da digestão e parte da água e dos sais minerais passarão, agora, do intestino delgado para a circulação. Esse processo denomina-se **absorção**. No intestino há vilosidades cuja principal função é aumentar a superfície de absorção. Nessas

vilosidades existem muitos capilares sangüíneos e linfáticos.



Esquema de vilosidades intestinais e de seus vasos sangüíneos e linfáticos vistos em cortes histológicos ao microscópio de luz (cores-fantasia).

Os capilares sangüíneos recebem aminoácidos, glicose, água e sais minerais, e os capilares linfáticos recolhem água e lipídios. Os capilares sangüíneos reúnem-se e levam o alimento digerido para o fígado, de onde é distribuído para todo o corpo. Os capilares linfáticos têm fundo cego (uma das extremidades fechada) e são denominados **vasos quilíferos**; eles não passam pelo fígado e lançam seus produtos na circulação sangüínea.

A porção final do intestino delgado, o íleo, comunica-se com a porção inicial do intestino grosso, o **ceco intestinal**. Nessa junção existe a **valva ileocecal**, cuja função é impedir o retorno do quilo para o íleo. O ceco mede cerca de 6 cm de comprimento e 7,5 cm de largura em uma pessoa adulta.

Associado ao ceco existe o **apêndice vermiforme**, uma pequena bolsa estreita e alongada medindo cerca de 8 cm de comprimento e 7 mm de diâmetro numa pessoa adulta. Essa estrutura praticamente não tem função na espécie humana, mas é bem desenvolvida em certos animais herbívoros, como os coelhos, atuando como uma estrutura que acumula microrganismos relacionados com a digestão da celulose.

O restante do intestino grosso mede cerca de 0,5 m de comprimento e 7 cm de diâmetro, sendo

dividido em **cólon ascendente**, **cólon transverso**, **cólon descendente** e **reto**. Este termina no ânus.

No cólon ascendente e em parte do transverso a digestão e a absorção de substâncias fluidas continuam. Na parte final do cólon transverso e no cólon descendente ocorre absorção de água e de sais minerais. No intestino grosso há grande número de bactérias que contribuem para a formação das fezes e para a produção de certas vitaminas, como a K e a B₁₂.

As fezes são armazenadas na porção final do intestino grosso e conduzidas ao reto. Imediatamente ou pouco depois da chegada ao reto há o estímulo para a defecação. As fezes são eliminadas através do ânus.

Tanto o intestino delgado quanto o grosso produzem também muco, importante para a proteção da parede intestinal.

3.8. O controle dos processos digestivos

Os processos digestivos são controlados pelo sistema nervoso autônomo e por hormônios.

A insalivação é controlada pelo sistema nervoso autônomo, determinando a produção da saliva quando, por exemplo, sentimos cheiro agradável de comida.

A digestão no estômago é controlada pelo sistema nervoso e por hormônios. No duodeno é controlada principalmente por hormônios.

A tabela a seguir resume a ação dos hormônios gastrintestinais:

HORMÔNIOS GASTRINTESTINAIS			
Hormônio	Origem	Estímulo para a produção	Ação
Gastrina	Estômago	Alimentos no estômago	Estimula a secreção de HCl; aumenta a motilidade gástrica.
Secretina	Intestino delgado	HCl no duodeno	Estimula a secreção de sucos pancreáticos que contêm bicarbonato; estimula a produção de bicarbonato pelo fígado; inibe a motilidade gástrica.
Colecistocinina (pancreozimina)	Intestino delgado	Proteases, peptonas e gorduras no duodeno	Estimula a liberação de enzimas pancreáticas; estimula a liberação de bile da vesícula biliar.
Peptídeo inibitório gástrico	Intestino delgado	Gorduras e carboidratos no duodeno	Inibe a motilidade gástrica.

4. Respiração: sistema respiratório

O termo respiração pode ser usado em seu sentido mais restrito, referindo-se ao processo bioquímico intracelular durante o qual ocorre liberação da energia contida em substâncias orgânicas. Essa energia será utilizada para diferentes atividades da célula e do organismo. Nesse caso, a respiração restringe-se a processos intracelulares.

Esse termo, entretanto, pode também ser empregado para as trocas gasosas com o meio exter-

no através de superfícies respiratórias. Será nesse sentido que o usaremos no presente capítulo.

Os gases importantes para a respiração são o **gás carbônico** (CO₂) e o **oxigênio** (O₂) (gases respiratórios).

As trocas gasosas são realizadas por **difusão**: movimento passivo de moléculas da região onde estão mais concentradas para a região onde estão menos concentradas.

Em todos os animais, incluindo-se os terrestres, há necessidade de um meio aquoso para que a difusão de gases ocorra: nos animais aquáticos a superfície respiratória está em contato com a água, e nos terrestres essa superfície é mantida úmida pelo próprio corpo do animal. Estando totalmente seca, uma superfície não exerce função de trocas gasosas.

Nos anfíbios a difusão de gases também pode ocorrer na superfície corpórea, havendo participação do sistema circulatório.

Quando ocorre difusão de gases pela superfície do corpo fala-se em **respiração cutânea**.

Existem, entretanto, estruturas especializadas para as trocas gasosas, que podem ser consideradas em duas categorias nos vertebrados:

- **brânquia:** estrutura relacionada com a respiração em ambiente aquático. Corresponde a evaginações (expansões que se projetam para fora) da superfície do corpo, aumentando a área para as trocas gasosas. Está associada ao sistema circulatório e também a mecanismos que promovem a circulação de água sobre sua superfície. Essa circulação de água é fundamental para que a difusão de gases ocorra, pois a água é constantemente renovada. São vários os tipos de brânquias que

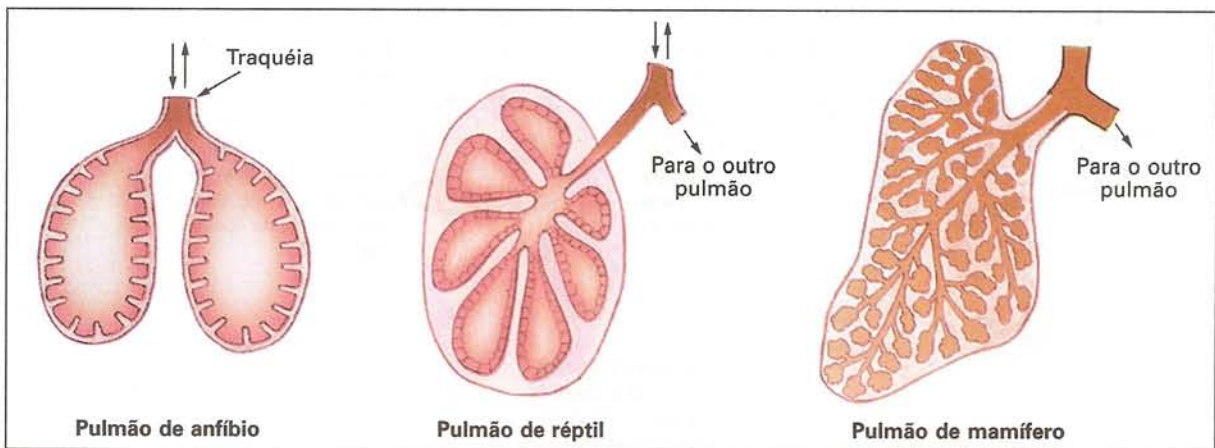
ocorrem nos animais. Algumas são externas, como as das larvas de anfíbios, enquanto outras ficam protegidas dentro do corpo, como as brânquias dos peixes;

- **pulmão:** estrutura relacionada com a respiração no ambiente terrestre. Corresponde a invaginações (expansões que se projetam para dentro) da superfície do corpo, aumentando a área para as trocas gasosas. Também está associada ao sistema circulatório e a mecanismos de ventilação que promovem a movimentação do ar. São vários os tipos de pulmão que ocorrem nos vertebrados, como é o caso dos peixes pulmonados e de todos os vertebrados terrestres.

Nos peixes a água entra pela boca, passa pela faringe, banha as brânquias, onde ocorrem as trocas gasosas, e sai do corpo pelas fendas branquiais.

Os pulmões são estruturas típicas dos animais de respiração aérea, lembrando que mesmo os aquáticos de respiração pulmonar necessitam vir à tona para a inspiração de ar.

Nos anfíbios os pulmões são estruturas simples, com poucas divisões internas; nos répteis essas divisões são em maior número; e nos mamíferos esse número atinge seu máximo, formando os **alvéolos**.



Esquema simplificado de pulmões em vertebrados vistos em corte longitudinal (cores-fantasia).

Nas aves os pulmões são compactos, e deles partem **sacos aéreos**, que se estendem a várias regiões do corpo. Como comentamos no capítulo 25, há vias aéreas que partem desses sacos e penetram os ossos pneumáticos.

Os anfíbios usam a movimentação da boca para ventilar os pulmões: a cavidade oral se expande e o ar penetra pelas narinas (a boca do anfíbio pode ficar fechada). Depois, “engolem” o ar, que passa para os pulmões. Esse mecanismo é chamado **bomba de sucção**.

Os peixes realizam processo semelhante, sugando água e empurrando-a para as brânquias, mas nesse caso a água penetra pela boca.

Como regra geral, répteis, aves e mamíferos

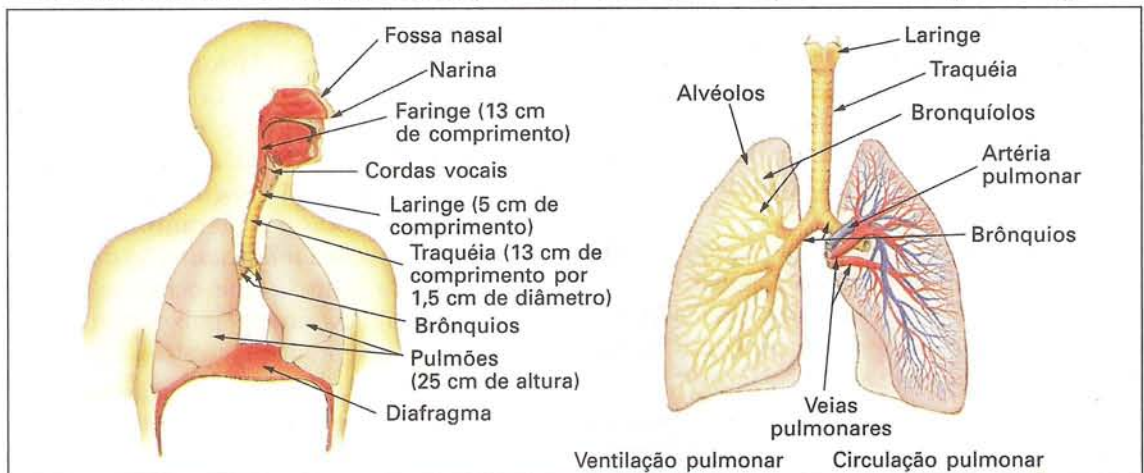
usam músculos do tronco para realizar a inspiração e a expiração; nos mamíferos há também a participação do **diafragma**, um músculo exclusivo desses animais que separa o tórax do abdome.

Durante a inspiração o ar entra nas **cavidades nasais** passando em seguida para a **faringe** (órgão comum aos sistemas digestório e respiratório), a **laringe** (que liga a faringe à traquéia), **traquéias**, **brônquios**, **bronquíolos** e **pulmões**.

Na laringe de muitos vertebrados existem modificações relacionadas com a produção de sons: as **pregas** ou **cordas vocais**. Em aves o som é produzido em uma estrutura exclusiva do grupo, a **siringe**, que se localiza onde a traquéia se bifurca formando os brônquios.

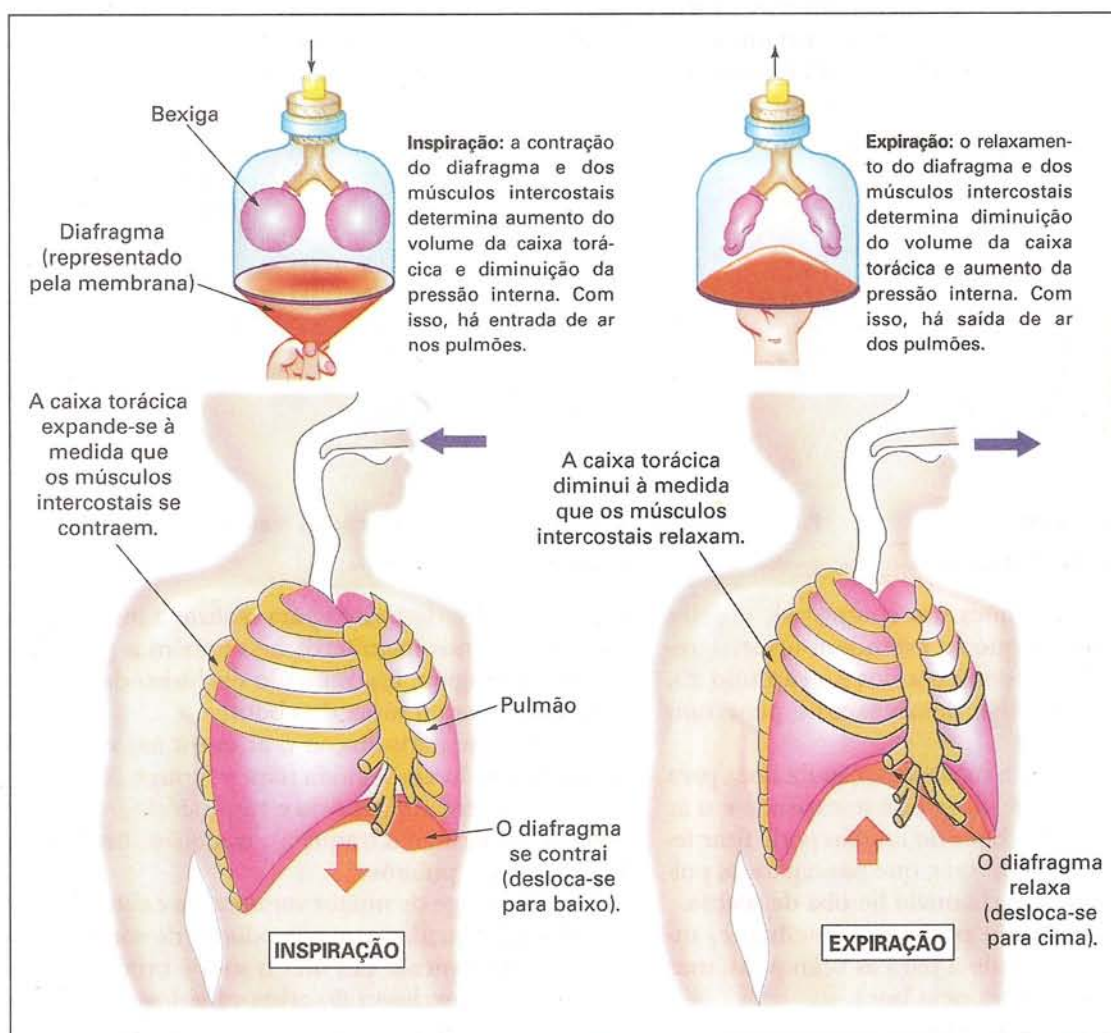
4.1. A respiração no ser humano

O sistema respiratório humano está representado de forma esquemática na figura a seguir:



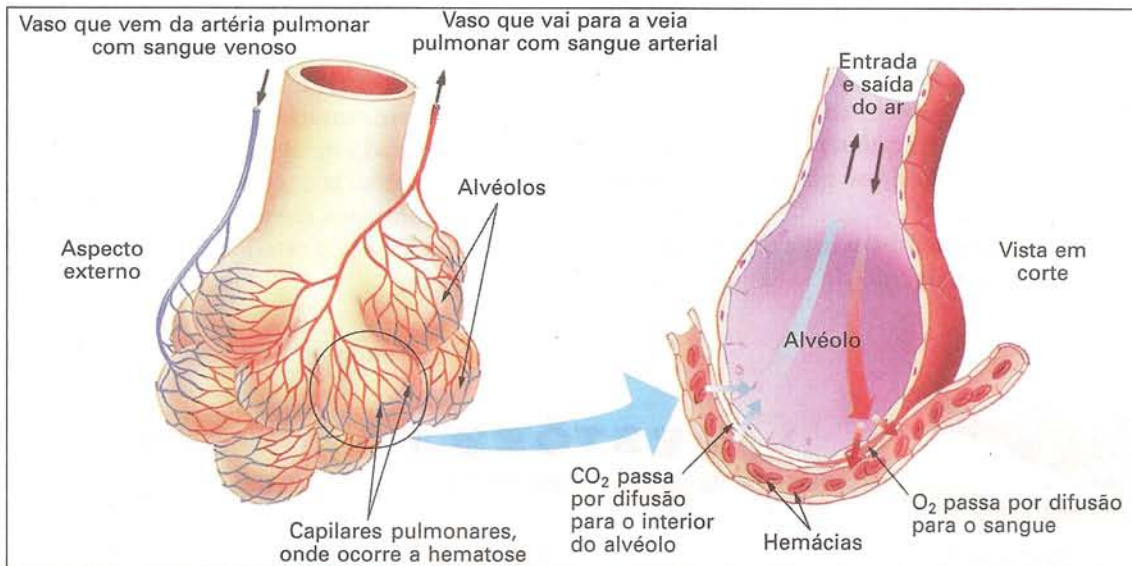
Esquema do sistema respiratório no ser humano. (Medidas aproximadas, considerando-se uma pessoa adulta; cores-fantasia.)

A movimentação de ar é determinada pela movimentação das costelas, em função de músculos torácicos (intercostais), e pela movimentação do diafragma, como esquematizado a seguir:



Esquema comparativo entre a respiração no ser humano e um modelo mecânico (cores-fantasia).

As trocas gasosas nas superfícies respiratórias ocorrem por **difusão**. No **sangue venoso** a concentração de gás carbônico (CO_2) é maior que a do meio externo que fica em contato com as superfícies respiratórias, ocorrendo o inverso com o **sangue arterial**, rico em oxigênio (O_2). Nas superfícies respiratórias há difusão de CO_2 para o meio externo e entrada de O_2 para o sangue. O sangue venoso passa, então, a sangue arterial. Esse processo denomina-se **hematose**.



Esquema da hematose nos alvéolos dos pulmões dos mamíferos com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

No sangue dos vertebrados existem células sangüíneas especiais chamadas **hemácias**, que contêm **hemoglobina**, um **pigmento respiratório** de cor vermelha que apresenta grande afinidade com moléculas de O_2 . Assim, a maior quantidade de O_2 é transportada pelas hemácias, enquanto uma porção menor é transportada dissolvida no plasma.

No sangue que passa pelos pulmões, o O_2 combina-se com a hemoglobina (Hb) durante a hematose, formando um composto instável denominado **oxiemoglobina**. Nos tecidos, o O_2 desprende-se da oxiemoglobina, deixando a hemoglobina livre.



O CO_2 difunde-se dos tecidos para o sangue, e parte dele se une à hemoglobina livre, formando um composto também instável denominado **carboemoglobina**. Nos pulmões o CO_2 difunde-se para os alvéolos, deixando a hemoglobina livre.



Enquanto praticamente todo o oxigênio é transportado pela hemoglobina, isso não ocorre com o CO_2 , pois apenas uma pequena quantidade dele é transportada sob a forma de carboemoglobina, sendo a maior parte transportada pelo plasma, principalmente sob a forma de íons bicarbonato (HCO_3^-).

Perigo no dia-a-dia

A hemoglobina é um pigmento que tem afinidade muito grande com certos gases tóxicos, como é o caso do **monóxido de carbono (CO)**, gás inodoro formado durante combustões, por exemplo nos carros, onde o CO é expelido pelos escapamentos. Esse gás forma com a hemoglobina a **carboxiemoglobina**, que é um composto estável. Como a afinidade da Hb com esse gás é maior do que com o O_2 ou o CO_2 , a inspiração do monóxido de carbono em recintos fechados pode levar à morte por asfixia, pois todas as moléculas de hemoglobina ficam unidas a ele de modo estável. Por isso, recomenda-se não deixar ligado o motor do carro em garagens fechadas, pois em tal situação aumenta muito a concentração de CO no ar.

Em túneis com pouca ventilação esse problema também é sério, sendo recomendável desligar o motor do carro em congestionamentos no interior desses túneis e também instalar um sistema de ventilação como os que já existem em muitos túneis nas grandes cidades.

4.2. O controle da respiração

O controle do ritmo involuntário da respiração é exercido principalmente pela medula oblonga (bulbo) do seguinte modo: o aumento do CO_2 no sangue faz com que haja maior formação de ácido carbônico pela união do gás carbônico com a água; esse ácido se dissocia, tornando o sangue mais ácido, o que estimula os centros respiratórios, que determinam aumento da frequência respiratória. Normalizada a concentração desse gás, o ritmo respiratório volta ao normal.

Outro fator que também interfere na taxa respiratória é o teor de oxigênio do sangue, que é per-

cebido por estruturas especiais localizadas nas artérias aorta e carótidas. Havendo redução acentuada do oxigênio no sangue, esses receptores enviam mensagem ao bulbo, que comanda o aumento da frequência respiratória.

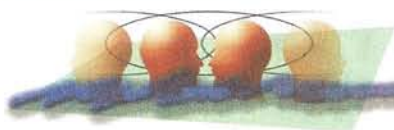
A existência de um controle involuntário da respiração pode fazer com que pessoas desmaiadas e que estejam correndo risco de afogamento inspirem água involuntariamente e acabem morrendo devido à entrada de água nos pulmões.

A frequência respiratória é influenciada também por controles nervosos de outros tipos, como os relacionados aos estados emocionais de raiva ou excitação.



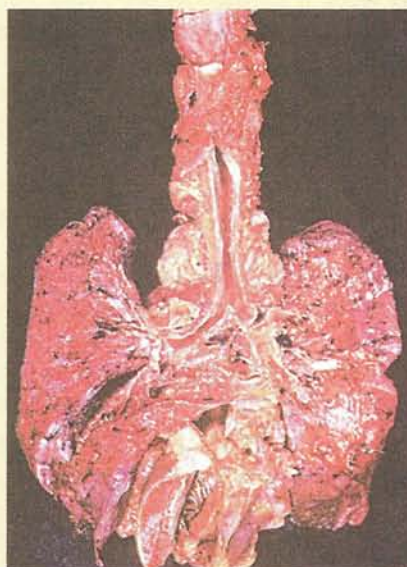
QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Conceitue homeostase.
2. Diga como é constituído basicamente o endoesqueleto dos vertebrados.
3. Explique como ocorre a interação entre musculatura esquelética e ossos na produção de movimentos voluntários do corpo humano.
4. Estabelecer uma programação bem orientada de atividades físicas é fundamental para a saúde humana; mas, sem uma boa orientação, a atividade física pode trazer problemas. Explique por quê.
5. Explique o que são atividades aeróbica e anaeróbica.
6. Diferencie fenômenos físicos de fenômenos químicos da digestão.
7. Indique os órgãos que produzem enzimas digestivas.
8. Faça um esquema para explicar os principais passos da digestão no ser humano.
9. Cite as especializações do estômago observadas em aves que ingerem grãos (aves granívoras) e em mamíferos ruminantes.
10. Dê um exemplo de estruturas intestinais que ocorrem em diferentes grupos de vertebrados e que são responsáveis pelo aumento da superfície de absorção dos alimentos digeridos.
11. Especifique onde são produzidas e como atuam no processo digestivo as seguintes substâncias:
 - a) ácido clorídrico;
 - b) bicarbonato;
 - c) bile.
12. Monte um esquema para explicar a ação dos hormônios no controle da digestão na espécie humana.
13. A celíase é uma doença determinada geneticamente, cujo portador apresenta uma intolerância permanente ao glúten, presente no trigo, centeio, cevada (malte inclusive) e aveia. Nessas pessoas, o glúten danifica a camada de revestimento interno do intestino delgado, ou seja, a vilosidade intestinal, que se torna atrofiada. Em 90% dos casos a doença surge na infância e raramente se manifesta em adultos. Diagnosticada a moléstia, o paciente deverá evitar o glúten. Caso contrário, ele poderá ser acometido de graves crises de diarreia, emagrecimento, crescimento deficiente, anemia, atraso na puberdade, alterações na dentição e, na idade adulta, esterilidade e risco de desenvolver câncer no intestino. Explique por que a redução das vilosidades intestinais provoca emagrecimento e diminuição do crescimento do indivíduo.
14. Explique por que não devemos manter o motor de um veículo ligado em uma garagem fechada, sem ventilação, ou por que se recomenda desligar o motor dos veículos quando ocorre congestionamento em túneis.
15. Explique como ocorre o controle da respiração nos seres humanos.
16. Compare os pulmões nos diferentes grupos de vertebrados.
17. Explique as trocas gasosas que ocorrem nos alvéolos pulmonares.
18. Descreva o transporte do O_2 e do CO_2 pelo sangue.



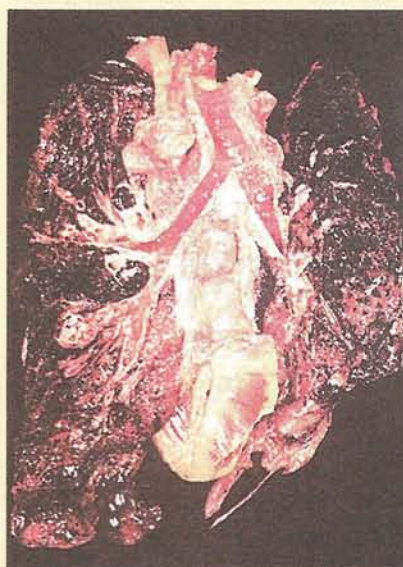
TEXTO PARA DISCUSSÃO

Fumar ou não, eis a questão



Cedoc

Fotografia de pulmão normal de pessoa não-fumante.



Cedoc

Fotografia de pulmão de um fumante.

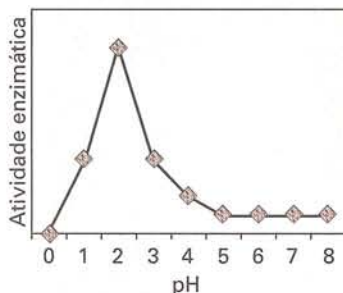
Apresentamos aqui algumas informações a respeito das consequências do ato de fumar. Leia, pense, discuta e tire suas conclusões.

- A vida de uma pessoa que fuma quinze cigarros por dia é reduzida, em média, cinco anos.
- Uma pessoa que fuma um maço de cigarros por dia tem probabilidade vinte vezes maior de desenvolver câncer de pulmão do que uma pessoa que não fuma.
- Uma pessoa que fuma tem o dobro de chance de vir a ter doenças cardiovasculares do que uma pessoa que não fuma.
- Uma pessoa que fuma tem vinte vezes mais chances de desenvolver bronquite crônica (os brônquios secretam excesso de muco e os cílios responsáveis pela eliminação desse muco passam a funcionar mal; o muco fica assim acumulado nos brônquios e bronquíolos, que inflamam, e a pessoa passa a tossir muito e a ter dificuldade em respirar) e enfisema pulmonar (rompimento dos alvéolos, com redução da área para as trocas gasosas) do que uma pessoa que não fuma.
- O fumante tem sete vezes mais chances de desenvolver úlceras e câncer de estômago do que os não-fumantes.
- Na circulação sangüínea do fumante existe 5% menos oxigênio do que na circulação do não-fumante.
- Fumar na gravidez representa perigo para o feto: há o dobro de risco de aborto, de nascimentos prematuros e de morte de fetos; quando isso não ocorre, o bebê de uma gestante fumante terá menor peso no nascimento.
- Os fumantes obrigam os não-fumantes a fumar, pois os não-fumantes confinados em ambientes fechados, como carros, escritórios, salas de espera, bares, restaurantes e outros recintos, são afetados pela fumaça do cigarro dos fumantes; respirando passivamente essa fumaça, os não-fumantes podem, ao longo do tempo, desenvolver os mesmos problemas circulatórios e respiratórios que os fumantes. Filhos de pais fumantes, por exemplo, têm o dobro de chance de contrair pneumonia ou bronquite no primeiro ano de vida.
- Se você não fuma, parabéns! Procure estimular as pessoas ao seu redor a seguir seu bom exemplo. Se você fuma, este é um bom momento para questionar seus hábitos. Pense e reflita nas consequências do ato de fumar, considerando não só você, mas também as pessoas com as quais convive. Redija um texto sobre sua opinião a respeito do ato de fumar e discuta o assunto com seus colegas de classe, com seu professor e com sua família.



TESTES

1. (UFCE) O gráfico abaixo mostra a taxa de digestão de um alimento em diferentes pH. Com base nesses dados, é correto afirmar que são substrato e enzima, respectivamente:



- a) amido e amilase salivar.
- b) proteína e pepsina.
- c) gordura e lipase intestinal.
- d) proteína e tripsina.
- e) sacarose e sacarase.

2. (Vunesp-SP) O destino de uma molécula de celulose presente nas fibras encontradas na alface ingerida por uma pessoa, numa refeição, é:

- a) entrar nas células e ser "queimada" nas mitocôndrias, liberando energia para o organismo.
- b) ser "desmontada" no tubo digestório, fornecendo energia para as células.
- c) servir de matéria-prima para a síntese da glicose.
- d) entrar nas células e ser utilizada pelos ribossomos na síntese de proteínas.
- e) ser eliminada pelas fezes, sem sofrer alteração no tubo digestório.

3. (UEL-PR) Uma pessoa com deficiência na produção de ácido clorídrico pelas glândulas da parede do estômago provavelmente tem dificuldade de digerir:

- a) carne.
- b) arroz.
- c) batata.
- d) pão.
- e) manteiga.

4. (PUC-MG) No duodeno, o alimento que veio do estômago recebe secreções:

- a) das amígdalas e pâncreas.
- b) da vesícula biliar e pâncreas.
- c) do fígado e glândulas parótidas.
- d) do pâncreas e glândulas salivares.
- e) da vesícula biliar e glândulas salivares.

5. (UFAL) No intestino humano existem inúmeras vilosidades cuja principal função é:

- a) aumentar a superfície de absorção dos alimentos digeridos.
- b) transformar o excesso de glicose em glicogênio.
- c) produzir enzimas para a digestão do amido.
- d) reservar parte dos alimentos digeridos.
- e) absorver o excesso de água do quilo.

6. (Fuvest-SP) Ao comermos um sanduíche de pão, manteiga e bife, a digestão do:

- a) bife inicia-se na boca, a do pão, no estômago, sendo papel do fígado produzir a bile que facilita a digestão das gorduras da manteiga.
- b) bife inicia-se na boca, a do pão, no estômago, sendo papel do fígado produzir a bile, que contém enzimas que digerem gorduras da manteiga.
- c) pão inicia-se na boca, a do bife, no estômago, sendo papel do fígado produzir a bile, que facilita a digestão das gorduras da manteiga.
- d) pão inicia-se na boca, a do bife, no estômago, sendo papel do fígado produzir a bile, que contém enzimas que completam a digestão do pão, do bife e das gorduras da manteiga.
- e) pão e a do bife iniciam-se no estômago, sendo as gorduras da manteiga digeridas pela bile produzida no fígado.

7. (Fuvest-SP) Qual cirurgia comprometeria mais a função do sistema digestório e por quê: a remoção dos vinte e cinco centímetros iniciais do intestino delgado (duodeno) ou a remoção de igual porção do início do intestino grosso?

- a) A remoção do duodeno seria mais drástica, pois nele ocorre a maior parte da digestão intestinal.
- b) A remoção do duodeno seria mais drástica, pois nele ocorre a absorção de toda a água de que o organismo necessita para sobreviver.
- c) A remoção do intestino grosso seria mais drástica, pois nele ocorre a maior parte da absorção dos produtos do processo digestório.
- d) A remoção do intestino grosso seria mais drástica, pois nele ocorre a absorção de toda a água de que o organismo necessita para sobreviver.
- e) As duas remoções seriam igualmente drásticas, pois, tanto no duodeno quanto no intestino grosso, ocorrem digestão e absorção de nutrientes e de água.

8. (PUC-RJ) A respiração é a troca de gases do organismo com o ambiente. Nela o ar entra e sai dos pulmões graças à contração do diafragma. Considere as seguintes etapas do processo respiratório no homem:

- I — Durante a inspiração, o diafragma se contrai e desce aumentando o volume da caixa torácica.
- II — Quando a pressão interna na caixa torácica diminui e se torna menor que a pressão do ar atmosférico, o ar penetra nos pulmões.
- III — Durante a expiração, o volume torácico aumenta, e a pressão interna se torna menor que a pressão do ar atmosférico.
- IV — Quando o diafragma relaxa, ele reduz o volume torácico e empurra o ar usado para fora dos pulmões.

Indique as opções corretas:

- a) I e II.
- b) II, III e IV.
- c) I, II e III.
- d) I, II e IV.
- e) Todas.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFRN) Em um experimento, foram retiradas duas amostras de enzimas do aparelho digestivo humano. Essas amostras foram reunidas e equitativamente distribuídas em quatro tubos de ensaio, aos quais foram adicionados alimentos mantidos em diferentes valores de pH, conforme o quadro abaixo, e conservados a 37 °C, durante 6 horas.

Tubos de ensaio	Alimentos adicionados	pH
I	Carne	2,0
II	Carne	7,0
III	Pão	6,8
IV	Pão	13,0

Considerando essas informações, responda:

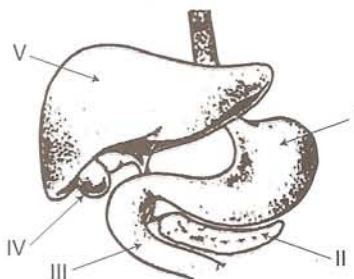
- Em quais tubos ocorreu a digestão?
- Quais as enzimas envolvidas e de que órgãos foram retiradas?
- Justifique a resposta dada no item a.

2. (UFRJ) Em uma campanha publicitária divulgada pela televisão, uma pessoa “ataca” a geladeira, à noite, e pega um pedaço de bolo. Nesse momento, uma criatura representando uma enzima do estômago adverte: “você vai se empanturrar e descansar enquanto eu vou ficar trabalhando a noite toda!”.

Como sabemos, os bolos são feitos basicamente de farinha de trigo, açúcar e manteiga.

Indique os órgãos produtores de enzimas digestivas que teriam “mais razões para reclamar”, se a fisiologia digestiva fosse rigorosamente observada. Justifique sua resposta.

3. (UFV-MG) O esquema abaixo representa uma seção do tubo digestivo humano com alguns anexos. Observe as indicações e resolva os itens.



- Cite o nome do substrato digerido pela principal enzima produzida em I.
- Qual a função da substância armazenada em IV?
- Pacientes com problemas de metabolismo da glicose podem apresentar disfunção de secreção endócrina do anexo indicado por qual número?

4. (UFOP-MG)

- Um estudante observou em seus experimentos que, quando se adicionava iodo a uma solução de amido em um tubo de ensaio, a mesma adquiria uma coloração azul. Se a seguir, em temperatura ambiente, fosse adicionada saliva ao conjunto, em pouco tempo a cor desaparecia. Interprete seus resultados.
- Repetindo o experimento a 100 °C, o estudante observou que a coloração azul não desaparecia com a adição de saliva. Justifique esse novo resultado.

5. (UFF-RJ) Cite, em ordem, os segmentos anômicos do aparelho digestivo das aves e dê as suas respectivas funções.

6. (Fuvest-SP) Em condições normais, nem todo o gás oxigênio transportado pelo sangue é liberado nos tecidos corporais; um pouco dele continua retido nas moléculas de hemoglobina. No entanto, um aumento da temperatura ou uma queda do pH faz com que a hemoglobina libere uma quantidade adicional de gás oxigênio.

- a) Explique a relação entre atividade muscular e aumento de temperatura.
- b) Explique a relação entre atividade muscular e queda de pH.
- c) Explique de que maneira o comportamento da hemoglobina, descrito no texto, pode ser benéfico para músculos em atividade intensa.

7. (UERJ) É comum vermos em túneis placas com os dizeres: “Em caso de congestionamento, desligue os motores”. Nas construções modernas, cada vez mais há a preocupação com o sistema de ventilação dentro dos túneis. Isto se deve a um gás inodoro, expelido pelos escapamentos dos carros, por queima de carvão, lenha e outras combustões, e que, quando inspirado em ambientes fechados, pode levar à morte.

- a) Que gás é esse?
- b) Por que esse gás pode levar à morte?

8. (UFPR) Entre os animais, há vários tipos de respiração, de acordo com a maneira como se efetuam as trocas gasosas com o ambiente. De acordo com esta proposição, responda: Que tipo de respiração é encontrada nas classes dos peixes, dos anfíbios, dos répteis, das aves e dos mamíferos?

9. (Unicamp-SP) A utilização e a manipulação de materiais produzidos com o amianto foram proibidas, pois esta substância é prejudicial à saúde das pessoas que trabalham na produção de caixas de água, telhas e revestimentos. As fibras de amianto, por serem finíssimas, quando inaladas penetram, por exemplo, nos pulmões, alojando-se nas estruturas responsáveis pelas trocas gasosas.

- a) Em que estruturas dos pulmões se alojam as fibras de amianto? Explique como se realizam as trocas gasosas.
- b) Além do pulmão, que outras estruturas permitem trocas gasosas nos animais?



Circulação, mecanismos de defesa, excreção

1. Circulação: sistema cardiovascular

A função de circulação nos vertebrados é realizada pelo **sistema cardiovascular**, antigamente denominado sistema circulatório.

Esse sistema é formado por um órgão central, o **coração**, e por uma rede de vasos nos quais circulam o **sangue** e a **linfa**, líquidos importantes do corpo, relacionados com uma série de funções.

O sistema cardiovascular é dividido em dois distritos: o sangüíneo e o linfático.

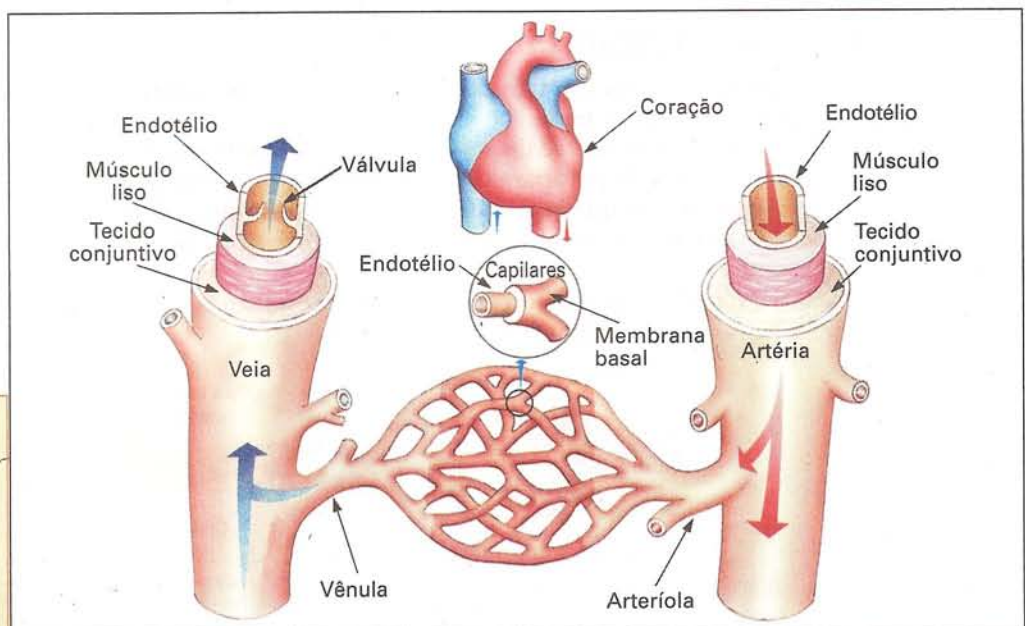
No **distrito sangüíneo** (ou sistema vascular sangüíneo) encontra-se o coração, que é o órgão central da circulação. O coração é um órgão muscular que impulsiona o sangue para vasos denominados **artérias**. Estas se ramificam em vasos cada vez mais finos, as **arteríolas**, e depois em **capilares** que conduzem o sangue às várias partes do corpo. Os capilares deixam alimento e O_2 nos tecidos e recolhem

deles resíduos do metabolismo, como é o caso do CO_2 . Os capilares venosos reúnem-se em **vênulas**, que se reúnem em vasos cada vez mais calibrosos, as **veias**.

Artérias: vasos que **saem** do coração, levando sangue para as diversas partes do corpo.

Veias: vasos que **chegam** ao coração, trazendo sangue de todas as partes do corpo.

As artérias possuem musculatura lisa muito desenvolvida, capaz de suportar a pressão exercida pelo sangue. Já nas veias a musculatura lisa é menos desenvolvida, sendo fundamental a participação da musculatura esquelética na condução do sangue venoso. Nas veias há válvulas que impedem o refluxo do sangue.

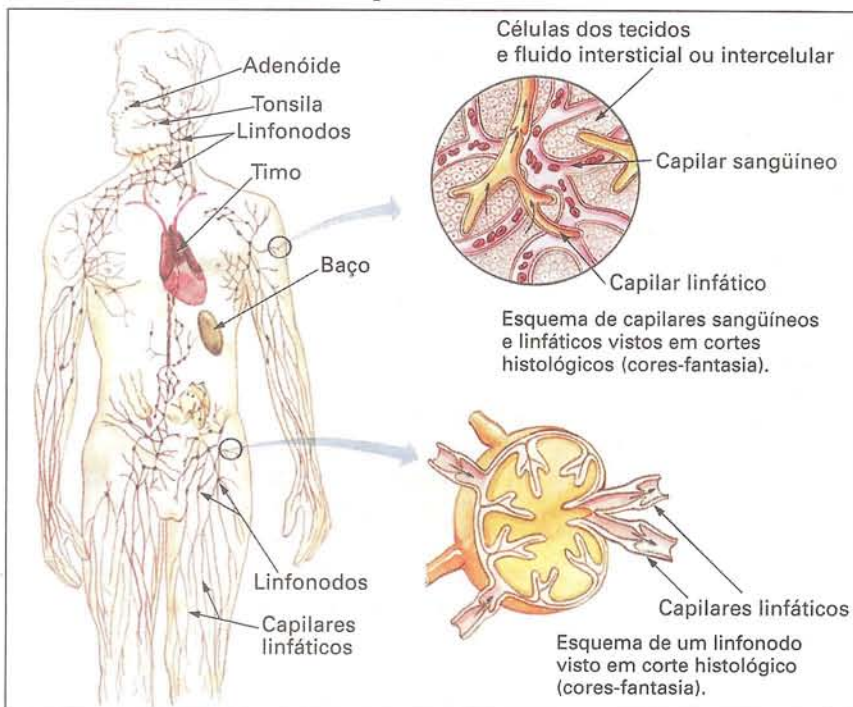


Esquemas mostrando a organização dos vasos no sistema vascular sangüíneo humano e vista externa do coração e alguns vasos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

O **distrito linfático** (ou sistema vascular linfático) é formado por vasos inicialmente muito finos, os **capilares linfáticos**, que possuem fundo cego nos interstícios dos tecidos. Eles drenam o fluido intercelular, que passa a ser denominado **linfa** a partir do momento em que entra nos capilares linfáticos.

Os capilares linfáticos reúnem-se progressivamente em vasos de calibre cada vez maior, que desembocam nos **dutos linfáticos**. Estes levam a linfa para veias de grande calibre do distrito sangüíneo. Esses vasos possuem válvulas que impedem o refluxo da linfa.

No trajeto dos dutos linfáticos há **linfonodos** (gânglios linfáticos), cuja função é filtrar a linfa, retirando dela bactérias e outros agentes que possam ser nocivos ao organismo. Além de vasos e linfonodos, participam desse sistema vários órgãos linfóides, como **baço**, **timo**, **tonsilas** (amígdalas), **adenóides** e parte da medula óssea. Linfonodos e órgãos linfóides participam dos mecanismos de defesa do corpo, que também serão analisados neste capítulo.



Esquema do sistema linfático (capilares e nódulos) humano em cores-fantasia e com elementos representados em diferentes proporções. O baço mede cerca de 13 cm de comprimento, 7 cm de largura e 3 cm de espessura; o coração tem o tamanho aproximado da mão fechada de uma pessoa; o tamanho do timo varia conforme a idade da pessoa e aqui está representado bem desenvolvido, o que não ocorre em um adulto.

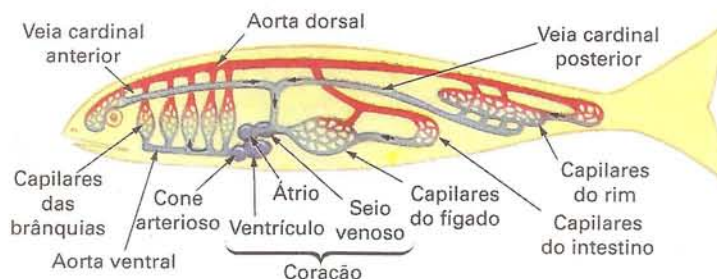
O estudo comparado do sistema cardiovascular dos vertebrados mostra que as principais diferenças se referem ao coração e aos vasos diretamente ligados a ele, como comentaremos a seguir.

1.1. Circulação sanguínea

O coração dos **peixes** consiste em três câmaras: o **seio venoso**, o **átrio** e o **ventrículo**. Alguns consideram também uma quarta câmara: o **cone**.

A circulação nesses animais ocorre do seguinte modo: do seio venoso o sangue é impulsionado para o átrio, deste para o ventrículo e depois para o cone. Este conduz o sangue para a artéria **aorta ventral**, que se ramifica formando **artérias branquiais**, as quais também se ramificam formando capilares nas brânquias. Ocorrem as trocas gasosas (hematose) e o sangue passa de venoso, rico em gás carbônico, para arterial, rico em oxigênio.

O sangue arterial é reunido na artéria **aorta dorsal** e conduzido para todo o corpo, de onde, já como sangue venoso, retorna ao coração dentro de veias.



Esquema da circulação em peixes (cores-fantasia).

A cada volta completa pelo corpo o sangue passa uma única vez pelo coração. Por isso dizemos que a circulação dos peixes é **simples**.

Pelas cavidades do coração dos peixes circula somente sangue venoso, e como não ocorre mistura de sangue arterial e venoso dizemos que a circulação nesses animais é **completa**.

Peixes: circulação simples e completa.

Em todos os vertebrados tetrápodes (anfíbios, répteis, aves e mamíferos) há **dupla circulação**: a pequena e a grande circulação. Nesses casos, o sangue passa duas vezes pelo coração em uma volta completa pelo corpo.

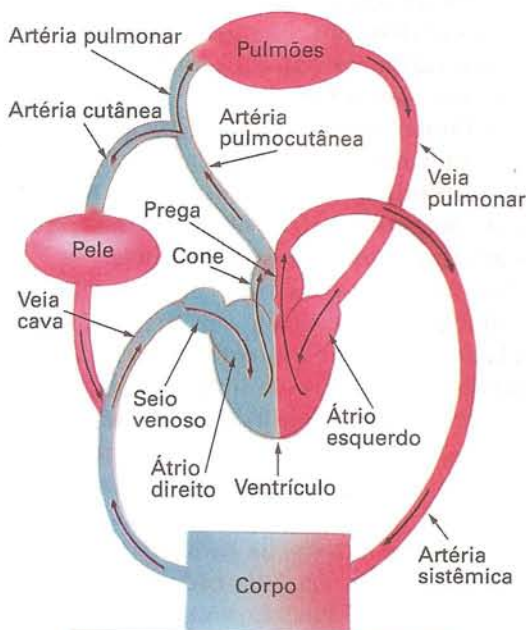
Na **pequena circulação** ou **circulação pulmonar** o sangue sai venoso do coração pelas **artérias pulmonares**, indo para os pulmões, onde é oxigenado. Dos pulmões, o sangue arterial retorna ao coração pelas **veias pulmonares**.

Na **grande circulação** ou **circulação sistêmica** o sangue sai arterial do coração pela **artéria aorta** e é distribuído para todo o corpo, retornando venoso para o coração pelas **veias cava**.

Todos os tetrápodes possuem dois átrios no coração. Os anfíbios e os répteis (com exceção dos crocodilianos) possuem um só ventrículo, enquanto as aves e os mamíferos possuem dois ventrículos.

No coração dos **anfíbios** ocorre mistura de sangue venoso com arterial, dizendo-se então que a circulação é **incompleta**. Hoje se sabe que essa mistura é muito pequena em função de trabéculas musculares da parede interna do ventrículo, que propiciam boa separação entre esses dois tipos de sangue.

É importante lembrar que os anfíbios realizam intensa respiração cutânea, e o sangue arterializado na pele retorna com certo teor de oxigênio para a veia cava.

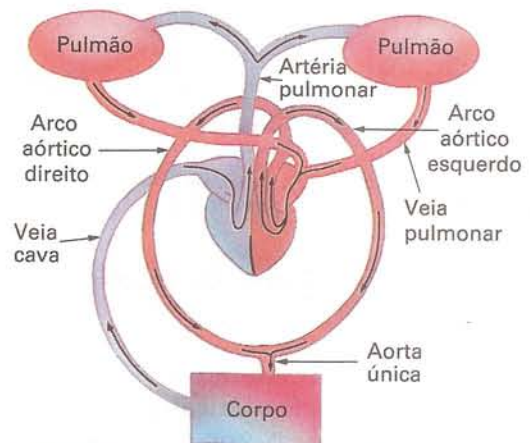


Esquema da circulação em anfíbios (cores-fantasia).

Anfíbios: circulação dupla e incompleta.

Nos **répteis** o ventrículo é parcialmente dividido, porém há pouca mistura de sangue arterial com venoso no coração. Os crocodilianos representam uma exceção a essa regra, pois neles existem dois ventrículos individualizados e não há mistura de sangue arterial com venoso no coração.

Os répteis possuem dois troncos aórticos: um de origem esquerda, que se volta para a direita, e um de origem direita, que se volta para a esquerda. Esses troncos se unem formando uma artéria aorta única.

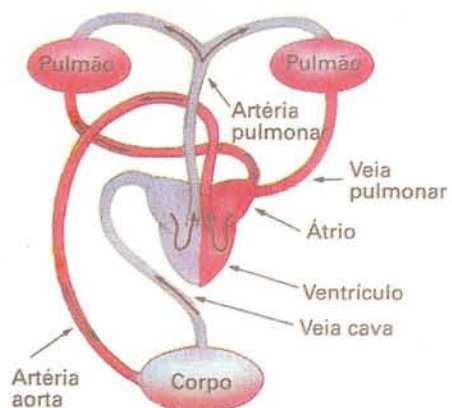


Esquema da circulação em répteis (cores-fantasia).

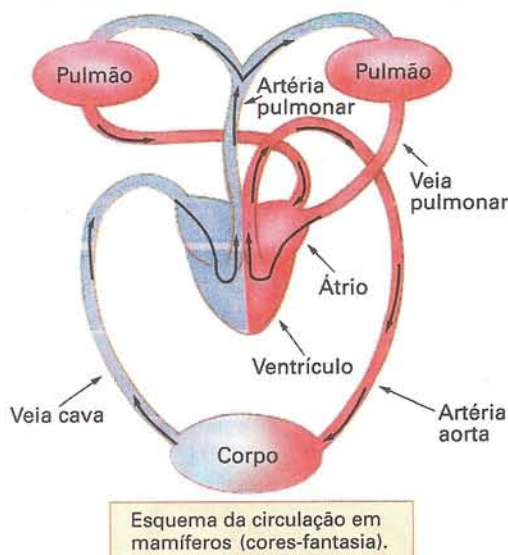
Nos crocodilianos, no ponto em que os dois troncos se cruzam existe uma região de comunicação chamada **forame de Panizza**, por onde eventualmente pode haver passagem de sangue.

Répteis, com exceção dos crocodilianos: circulação dupla e incompleta.

Nas **aves** e nos **mamíferos** o coração possui quatro câmaras distintas: **dois átrios** e **dois ventrículos**. Não ocorre mistura de sangue, o que caracteriza a **circulação completa**. No entanto, existe uma importante diferença anatômica: nas aves a curvatura da aorta (crossa) é dirigida para a direita, enquanto nos mamíferos é para a esquerda.

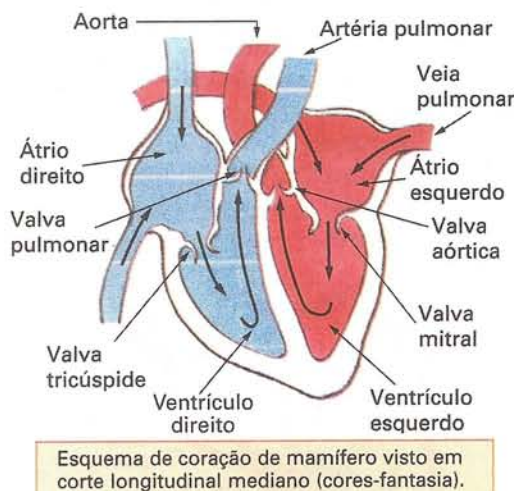


Esquema da circulação em aves (cores-fantasia).



Aves e mamíferos: circulação dupla e completa.

Entre o átrio direito e o ventrículo direito encontra-se a **valva atrioventricular direita** (ou válvula tricúspide), e entre o átrio esquerdo e o ventrículo esquerdo há a **valva atrioventricular esquerda** (ou válvula mitral). Essas valvas impedem que o sangue impulsionado com força e pressão pelos ventrículos retorne para os átrios. Na abertura da artéria pulmonar no ventrículo direito há a **valva pulmonar**, e na abertura da aorta no ventrículo esquerdo encontra-se a **valva aórtica**. Elas impedem o retorno do sangue aos ventrículos.



1.2. O funcionamento do coração

O coração de uma pessoa adulta tem o volume aproximado da mão fechada do indivíduo e pesa em média 300 g, sendo capaz de impulsionar cerca de 70 ml de sangue a cada contração. Os movimentos

de contração do coração são denominados **sístoles** e os movimentos de relaxamento, **diástoles**.

Quando os **átrios** estão em **sístole**, bombeiam sangue para os **ventrículos**, que estão em **diástole**. Quando os **ventrículos** entram em **sístole**, os **átrios** entram em **diástole**, recebendo sangue venoso proveniente do corpo (átrio direito) e sangue arterial proveniente dos pulmões (átrio esquerdo). O sangue venoso, bombeado pelo ventrículo direito, vai para os pulmões; o sangue arterial, bombeado pelo ventrículo esquerdo, vai para todo o corpo.

O controle dos batimentos cardíacos pode ser determinado por fenômenos **miogênicos**, que são os originados no próprio músculo cardíaco, ou por fenômenos **neurogênicos**, originados por estímulos nervosos.

Nos vertebrados o batimento é miogênico, podendo, entretanto, haver alterações provocadas por estímulos nervosos.

Tomando como exemplo o coração humano, os batimentos cardíacos obedecem ao ritmo de impulsos provenientes de dois nós especiais do músculo cardíaco. Inicialmente o **nó sinoatrial**, atuando como **marca-passo**, determina a contração dos átrios. Desse nó partem impulsos em direção ao **nó atrioventricular**; este os transmite a fibras condutoras especiais que determinam a sístole do ventrículo.

O coração dos vertebrados continua batendo por algum tempo mesmo quando suas inervações são cortadas, provando que o estímulo da contração é de origem miogênica.

Apesar desse automatismo da contração, os batimentos cardíacos têm mecanismos reguladores relacionados com a Divisão Autônoma do Sistema Nervoso. Os nervos que atuam sobre o coração permitem ajustes nas frequências cardíacas de acordo com as necessidades do organismo. Existem os que provocam aumento da frequência cardíaca e os que provocam diminuição dessa frequência.

No momento em que a musculatura do ventrículo se contrai (sístole ventricular), a pressão exercida no sistema de vasos arteriais é chamada **pressão sistólica arterial**. Em um indivíduo do sexo masculino normal e jovem, ela é da ordem de 120 mmHg (milímetros de mercúrio), aproximadamente.

Quando a musculatura do ventrículo sofre relaxamento, a pressão diminui, falando-se em **pressão diastólica arterial**. Em um indivíduo do sexo masculino normal e jovem, ela é da ordem de 80 mmHg, aproximadamente. Esses valores podem sofrer variações, ainda dentro de padrões considerados normais, em função de fatores como idade e sexo.

Indivíduos com pressão arterial constantemente **alta** são considerados **hipertensos**; os que a possuem constantemente **baixa** são **hipotensos**.

O número de contrações realizadas pelo coração por minuto corresponde à **frequência cardíaca**, que em uma pessoa normal, em repouso, é da ordem de setenta contrações por minuto, aproximadamente. Essa frequência oscila, dentro de valores considerados normais, em função de variáveis como o sexo e a idade.

1.3. O sangue

O corpo de uma pessoa adulta tem, em média, 5 litros de sangue circulando continuamente. Essa quantidade de sangue corresponde a aproximadamente $\frac{1}{12}$ do peso do corpo de um adulto.

O sangue é formado pelos seguintes elementos: hemácias, leucócitos, plaquetas e plasma.

Na espécie humana, o número total considerado normal para cada um dos elementos do sangue varia de acordo com a idade e o sexo do indivíduo.

Hemácias

As **hemácias** ou **glóbulos vermelhos** ou ainda **eritrócitos** (*eritro* = vermelho; *cito* = célula) medem cerca de 7 μm de diâmetro e correspondem a cerca de 42 a 47% do volume do sangue. Elas atuam nas trocas gasosas. Contêm o pigmento vermelho hemoglobina, que possui ferro em sua molécula. Na imensa maioria dos mamíferos as hemácias são anucleadas, mas são nucleadas nos vertebrados das demais classes.

Leucócitos

Os **leucócitos** ou **glóbulos brancos** correspondem a cerca de 1% do volume do sangue e são células cuja função principal é a defesa.

Os leucócitos são classificados em **granulócitos**, que possuem grânulos no citoplasma, e **agranulócitos**, que não possuem grânulos.

A tabela a seguir mostra de forma resumida os tipos de leucócitos:

	Granulócitos (apresentam grânulos no citoplasma)			Agranulócitos (não apresentam grânulos no citoplasma)	
Desenho esquemático (cores-fantasia)					
	Neutrófilo	Eosinófilo	Basófilo	Linfócito	Monócito
Característica geral	Núcleo geralmente trilobulado.	Núcleo bilobulado.	Grânulos citoplasmáticos muito grandes, chegando a mascarar o núcleo.	Núcleo muito condensado, ocupando quase toda a célula.	Núcleo em forma de rim.
Função	Fagocitar elementos estranhos ao organismo.	Fagocitar apenas deter- minados elementos. Em doenças alérgicas, ou provocadas por parasitas intestinais, há aumento no número dessas células.	Liberar heparina (anticoagulante) e histamina (substância vasodilatadora liberada em processos alérgicos).	Produção de anticorpos. Os linfócitos estão relacionados aos processos de rejeição de enxertos.	Fagocitar bactérias, vírus, fungos e restos de células do corpo.
Diâmetro (μm)	12 a 15	12 a 15	12 a 15	6 a 18	12 a 20
Valores de referência para o sexo masculino acima de 16 anos ($\text{n}^\circ/\text{mm}^3$)	1 700 a 8 000	50 a 500	0 a 100	900 a 2 900	300 a 900

Existem dois tipos principais de **linfócitos**:

- **linfócitos T**: derivam de células indiferenciadas da medula óssea que migram pelo sangue até o **timo**, onde se dividem e se diferenciam em linfócitos, que por isso são chamados **T**. O timo é um órgão localizado no tórax, próximo ao coração;
- **linfócitos B**: nos mamíferos esse tipo de linfócito parece se diferenciar no fígado do feto e, após o nascimento, na medula óssea vermelha. Emprega-se a letra **B** por esse tipo de linfócito ter sido inicialmente descoberto nas aves, sendo maturado numa estrutura chamada bursa de Fabricius.

Plaquetas

As plaquetas correspondem a menos de 1% do volume do sangue; são fragmentos anucleados de células e participam dos processos de coagulação do sangue.

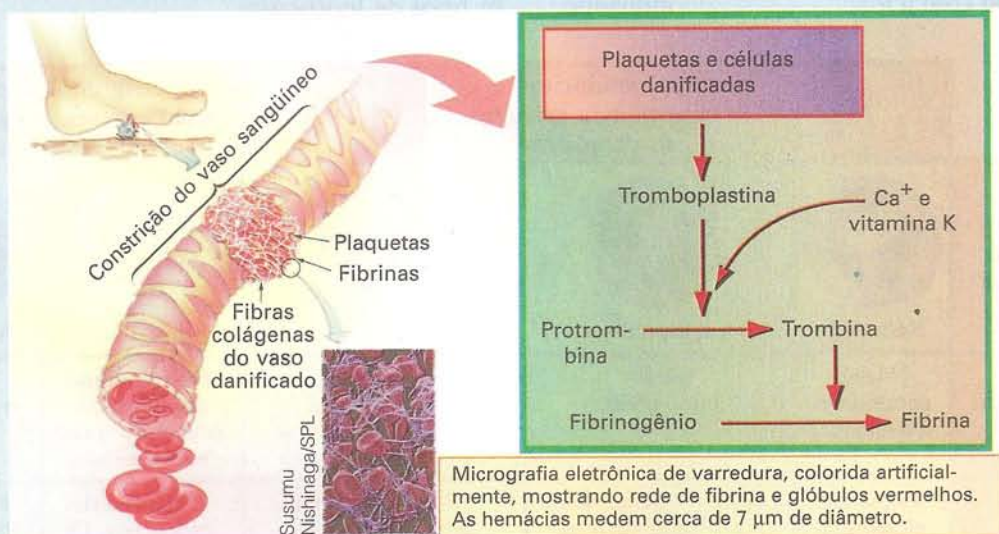
Plasma

O plasma é rico em água e corresponde à porção líquida do sangue, onde estão imersos os leucócitos, as hemácias e as plaquetas. Contém ainda sais minerais, proteínas e vários outros compostos orgânicos, como aminoácidos, vitaminas, carboidratos, ácidos graxos, hormônios e lipoproteínas.

Coagulação do sangue

Quando ocorre um ferimento com sangramento, as fibras musculares do vaso sanguíneo danificado contraem-se, diminuindo o volume do vaso e conseqüentemente o fluxo de sangue.

As plaquetas e as células dos tecidos lesados liberam uma enzima chamada **tromboplastina**, que, na presença de íons cálcio e de vitamina K do sangue, catalisa uma reação química que transforma a proteína plasmática **protrombina** na enzima ativa **trombina**. Essa enzima catalisa a reação de transformação de outra proteína plasmática, o **fibrinogênio**, em **fibrina**. A fibrina forma uma rede de fios no ferimento, na qual ficam retidos os glóbulos sanguíneos, originando assim o coágulo, que estanca o sangue.



Esquema simplificado da coagulação do sangue. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

1.4. Circulação linfática

As células dos tecidos do corpo humano são banhadas pelo líquido intersticial. Parte desse líquido retorna ao sangue, principalmente pela porção venosa dos capilares sanguíneos, mas cerca de 10% são coletados pelos capilares linfáticos. No distrito linfático, esse líquido, agora chamado **linfa**, sempre passa por pelo menos um linfonodo antes de retornar ao sangue.

A composição da linfa é semelhante à do líquido intersticial dos tecidos onde ela se forma. Por exemplo, a linfa formada no fígado tem maior concentração de proteínas do que a formada na região do intestino, onde ela pode ser muito rica em gordura, por exemplo.

A linfa também contém linfócitos, armazenados nos linfonodos. Estes “filtram” a linfa antes de ela retornar ao sangue. Nesse processo há remoção de microrganismos patogênicos que eventualmente estejam sendo transportados pela linfa. Isso provoca uma resposta de defesa: os linfonodos assim estimulados aumentam de tamanho, sendo muitas vezes palpáveis na pele, principalmente na região do pescoço.

Nos linfonodos e nos órgãos linfóides em geral ocorre também produção de anticorpos, importantes no combate a infecções.

Os órgãos linfóides serão estudados a seguir, ao analisarmos os mecanismos de defesa do organismo.

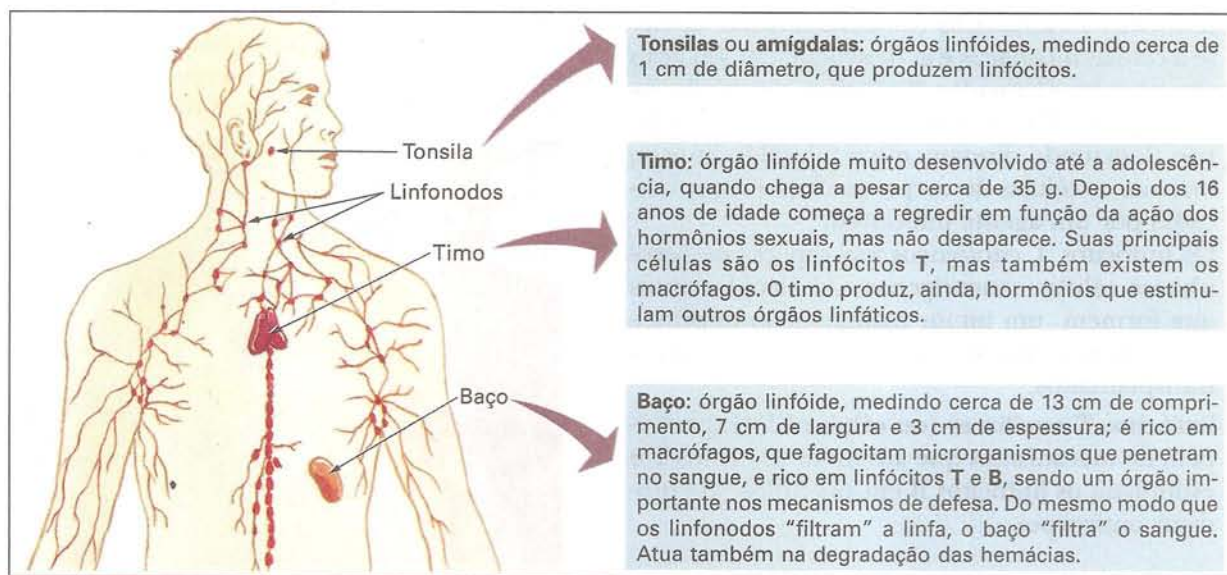
2. Mecanismos de defesa

Os mecanismos de defesa do corpo humano podem ser agrupados em duas categorias: inespecíficos e específicos.

- **Mecanismos de defesa inespecíficos:** não distinguem um agente infeccioso de outro. Incluem duas linhas de defesa que os invasores encontram ao tentarem penetrar o corpo. A **primeira linha**, mais externa, é formada pela pele e pelas membranas mucosas dos sistemas respiratório, digestório e urogenital. Se um microrganismo conseguir vencer essas barreiras, enfrentará a **segunda**

linha de defesa inespecífica, interna: substâncias químicas e células que matam indiscriminadamente qualquer agente infeccioso que penetre o organismo, seja ele vírus, bactéria, fungo ou protozoário. Elas agem imediatamente após a infecção.

- **Mecanismos de defesa específicos:** constituem a **terceira e última linha** de defesa, em que as respostas não são indiscriminadas, mas específicas. Participam desses mecanismos os órgãos linfóides (timo, baço, tonsilas e linfonodos), que constituem o **sistema imunitário**.



Esquema simplificado indicando órgãos linfóides do sistema imunitário humano adulto (cores-fantasia).

2.1. Sistema imunitário

Aqui daremos ênfase ao sistema imunitário, que se diferencia dos mecanismos inespecíficos de defesa por dois fatores básicos: especificidade e memória.

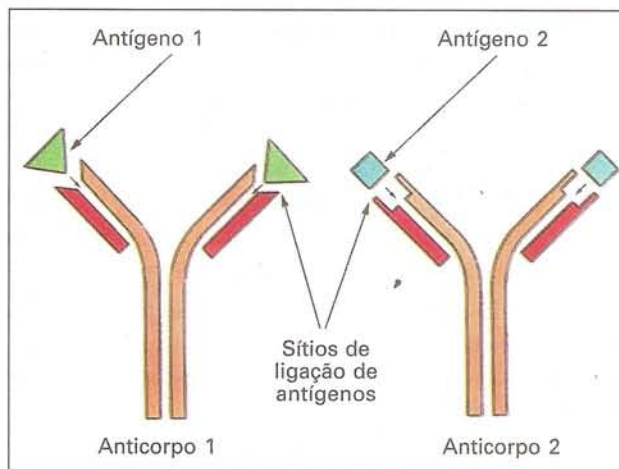
A **especificidade** refere-se à capacidade do sistema de reconhecer e combater certos microrganismos ou substâncias estranhas ao corpo. O elemento estranho capaz de estimular uma resposta imune é denominado **antígeno**, que geralmente é uma proteína ou um polissacarídeo.

O sistema imunitário responde ao antígeno produzindo uma proteína chamada **anticorpo**, que é específica para aquele antígeno.

Antígenos podem estar presentes nos envoltórios de vírus, bactérias, fungos, protozoários e vermes parasitas, e também na superfície de materiais estranhos ao corpo humano, como pólen e tecidos transplantados.

Os anticorpos, proteínas denominadas genericamente **imunoglobulinas (Ig)**, são produzidos por

linfócitos. Um anticorpo reconhece apenas o antígeno que induziu sua formação, sendo portanto altamente específico.



Esquema simplificado de moléculas de anticorpo mostrando que cada anticorpo reage só com um antígeno (cores-fantasia).

Ao nascer, uma criança já recebeu de sua mãe, através da placenta, anticorpos prontos, obtendo ainda outros durante a amamentação.

Ao longo da vida, o corpo humano é capaz de produzir grande número de anticorpos diferentes em resposta à grande quantidade de antígenos com os quais entra em contato.

A **memória** refere-se à capacidade que o sistema imunitário tem de reconhecer novamente um mesmo antígeno e reagir contra ele, produzindo rapidamente mais anticorpos específicos. Desse mecanismo participam os linfócitos B, que produzem anticorpos, e os linfócitos T, que podem ser de vários tipos. Entretanto, comentaremos apenas dois:

- **linfócitos T citotóxicos** (ou **células CD8**): unem-se a células infectadas e as destroem. Por sua ação são também chamados “**linfócitos assassinos** ou **matadores**”. Eles não têm atividade fagocitária, não destruindo diretamente o micróbio invasor, mas sim as células do corpo que estão sendo atacadas por um agente infeccioso. Os linfócitos T citotóxicos são capazes de reconhecer células cancerígenas e destruí-las antes que formem um tumor maligno. São as principais células responsáveis pela rejeição de órgãos transplantados;
- **linfócitos T auxiliares** (ou **células CD4**): participam de mecanismos que ativam os linfócitos T e estimulam os linfócitos B em sua função de produzir anticorpos.

2.2. Imunizações ativa e passiva

Já foi comentado na seção **Texto para discussão** do capítulo 13 o assunto vacinação e soros que envolvem os mecanismos de imunização ativa e de imunização passiva, respectivamente. Aqui esses mecanismos serão explicados relacionando-os ao sistema imunológico e à memória desse sistema. Seria interessante que você retomasse a leitura do texto citado para complementar as informações aqui discutidas.

O princípio da **imunização ativa** é o seguinte:

- inocula-se pela primeira vez um indivíduo sadio com uma pequena quantidade de antígeno;
- o indivíduo passa a produzir anticorpos, que após alguns dias estarão disponíveis no sangue para atuar contra os antígenos; é o que se chama **resposta primária**;
- se esse indivíduo receber uma segunda inoculação do mesmo antígeno, a resposta imunológica será muito mais rápida, e a produção de anticorpos muito maior; é a chamada **resposta secundária**,

relacionada ao mecanismo de memória, que é prontamente ativada quando o organismo volta a entrar em contato com o antígeno.

É nesse mecanismo que se baseiam as **vacinações**. Os antígenos empregados nas vacinações correspondem a formas atenuadas de toxinas, como a que causa o tétano, ou aos próprios microrganismos causadores das doenças, mas enfraquecidos ou mortos.

Os anticorpos são produzidos como se a toxina ou os microrganismos estivessem na forma ativa. Assim, por meio das vacinações adquirimos imunidade contra doenças sem que as tenhamos contraído.

As vacinas atuam, portanto, como uma primeira inoculação de antígeno, “programando” o organismo para produzir rapidamente mais anticorpos, caso o indivíduo entre em contato com as formas ativas dos antígenos causadores de doenças.



Criança tomando vacina Sabin.

Na **imunização passiva** são introduzidos no organismo os anticorpos já prontos para o combate a um antígeno. É um tipo de imunização que se destina a desencadear uma resposta rápida do organismo e no qual se baseia a utilização de **soros**.

Em caso de mordida de serpente peçonhenta, por exemplo, não é possível esperar que o próprio organismo reaja produzindo anticorpos, pois esse processo é lento. Então, injeta-se um soro antiofídico, que já contém os anticorpos prontos para atuar.

A imunização passiva é passageira, ao contrário da imunização ativa, que é relativamente duradoura. Isso ocorre porque na imunização passiva a pessoa recebe os anticorpos prontos para combater os antígenos antes mesmo de eles ativarem o sistema imunitário. Nesse caso, a informação não fica registrada na “memória” do organismo.

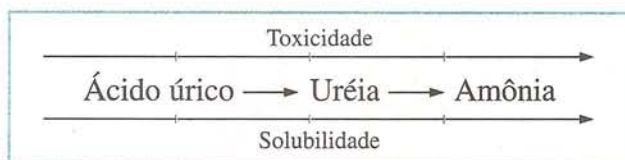
A produção dos diversos soros é feita seguindo-se padrões semelhantes. No caso de soros antiofídicos, por exemplo, o antígeno (veneno) atenuado é inoculado em um animal de grande porte, geralmente um cavalo, que passa a produzir anticor-

pos contra esse antígeno. Após algum tempo, a dose é reforçada, o que provoca aumento na quantidade de anticorpos no sangue do animal. Depois, coleta-se um pouco desse sangue e separa-se dele o soro, que contém os anticorpos. Esse soro é preparado e utilizado nas pessoas.

3. Excreção

A excreção é o principal mecanismo homeostático dos animais, pois mantém o organismo em condições de normalidade, especialmente em relação ao equilíbrio de sais e de água e à remoção de excretas nitrogenadas.

As excretas nitrogenadas são resultantes do metabolismo de proteínas e de ácidos nucleicos, sendo as principais o **ácido úrico**, a **uréia** e a **amônia**. Elas apresentam toxicidade e solubilidade distintas, como mostra o esquema a seguir:



O tipo de excreta que o animal produz e elimina predominantemente está relacionado com o ambiente em que ele vive.

A amônia, por exemplo, é altamente tóxica, e há necessidade de um volume considerável de água para sua eliminação, sendo a principal excreta dos animais aquáticos.

A uréia é menos tóxica e menos solúvel em água do que a amônia, e há necessidade de um volume menor de água para sua eliminação, sendo a principal excreta de alguns animais aquáticos e de muitos terrestres.

O ácido úrico é atóxico e insolúvel em água, sendo produzido por animais que precisam economizar água ou não dispõem desse recurso em quantidade suficiente. O ácido úrico também é produzido por embriões que se desenvolvem no interior de ovos revestidos por cascas. Por suas características, esse tipo de excreta pode ser armazenado no interior do ovo sem causar prejuízo ao embrião, o que não ocorreria com os outros produtos de excreção nitrogenada.

De acordo com a excreta nitrogenada predominante na excreção, os vertebrados podem ser classificados em:

- **amoniotélicos:** excretam principalmente amônia. A maioria dos animais aquáticos, como os osteíctes, e as larvas aquáticas de animais terrestres (girinos) são amoniotélicas;
- **ureotélicos:** excretam principalmente uréia. Representados por condrites, mamíferos, anfíbios adultos e alguns répteis, como as tartarugas;

- **uricotélicos:** excretam principalmente ácido úrico. São representados pelas aves e pela maioria dos répteis.

3.1. Sistema urinário

Nos vertebrados as excretas são eliminadas do corpo para o meio externo principalmente pelo sistema urinário. Esse sistema participa também:

- da reabsorção de substâncias úteis ao organismo, como aminoácidos, glicose e água;
- da regulação do volume de água no corpo;
- da secreção de potássio, fundamental para manter o funcionamento da bomba de sódio e potássio nos mecanismos de transporte ativo através da membrana plasmática.

Na espécie humana, o sistema urinário é formado por:

- dois **rins**;
- **vias uriníferas** (vias condutoras de urina compostas de duas **pelves renais**, dois **ureteres**, **bexiga urinária** e **uretra**).

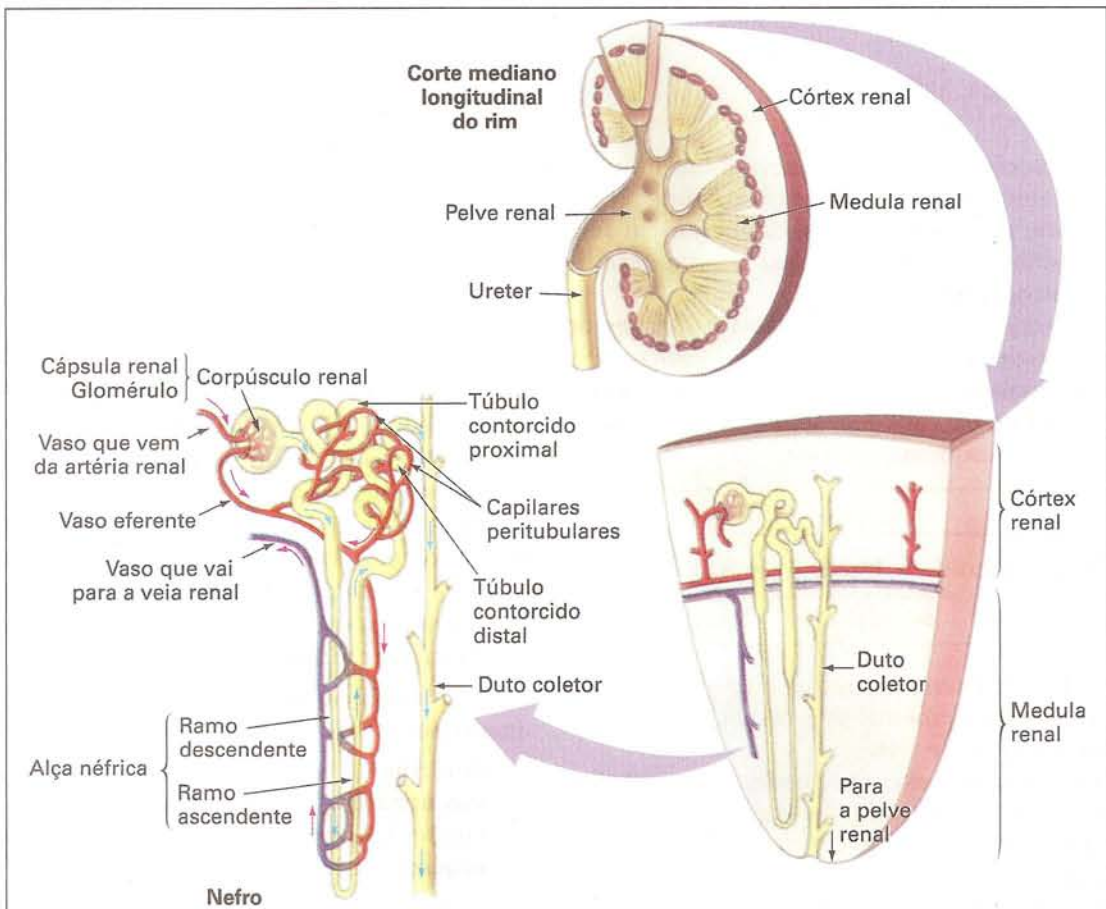
Fazendo um corte longitudinal no rim, podemos observar duas regiões: o **córtex**, mais externo, e a **medula**, mais interna. O rim de uma pessoa adulta pesa aproximadamente 150 g e tem cerca de 12 cm de comprimento e 6 cm de largura.

A unidade morfofuncional dos rins é o **nefro** (ou **néfron** ou ainda **nefrônio**). Cada nefro é formado pelo **corpúsculo renal** (cápsula e glomérulo) juntamente com o **túbulo néfrico**. Este pode ser dividido em três regiões distintas: o **túbulo contorcido proximal**, a **alça néfrica** (alça de Henle) e o **túbulo contorcido distal**.

O sangue a ser filtrado pelos rins é arterial, trazido pelas **artérias renais** (direita e esquerda), ramos da **artéria aorta**. As artérias renais apresentam múltiplas ramificações no interior do rim. Acompanhando o percurso de uma dessas ramificações, verifica-se que ela sofre redução de diâmetro até formar um capilar muito delgado, que se enovela dando origem ao **glomérulo renal** (glomérulo de Malpighi). Este fica abrigado pela **cápsula renal** (cápsula de Bowman) e juntos compõem o **corpúsculo renal**.

O sangue, ainda arterial, sai do glomérulo por um vaso que o conduz a uma trama de capilares ao

redor dos túbulos néfricos. O sangue, agora venoso, é recolhido por um ramo da veia renal e levado até a veia cava.



Esquema da estrutura interna do rim humano. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

O sangue chega ao glomérulo sob uma pressão alta o suficiente para que parte do plasma passe para a cápsula renal. Esse processo denomina-se **filtração**, e o líquido que passa para a cápsula renal é chamado **filtrado glomerular**, formado principalmente por água, uréia, sais (de sódio e potássio, por exemplo), aminoácidos, glicose e outras substâncias.

Esse filtrado passa então para os túbulos néfricos, onde ocorre **reabsorção** de algumas substâncias, como glicose, aminoácidos e sais, além de grande parte da água. Assim inicia-se a formação da urina, que vai se modificando ao longo dos tubos néfricos, ficando mais concentrada.

No **duto coletor** (ou túbulo coletor reto) ocorrerá mais reabsorção de água, finalizando a produção da urina. Cada duto coletor recebe a urina de vários nefros, e numerosos dutos coletores levam-na para a pelve renal, que a conduz através do ureter à bexiga urinária, onde fica armazenada até ser eliminada para o meio externo através da uretra.

O ureter de uma pessoa adulta mede aproximadamente 25 cm de comprimento e a bexiga urinária pode armazenar, quando cheia, até mais de

meio litro de urina. A partir de 350 ml a pessoa já começa a sentir necessidade de eliminar a urina.

A uretra de um indivíduo do sexo masculino adulto mede cerca de 20 cm de comprimento e é um órgão comum aos sistemas urinário e genital. A uretra feminina é exclusiva do sistema urinário e mede cerca de 4 cm de comprimento.

Regulação da função renal

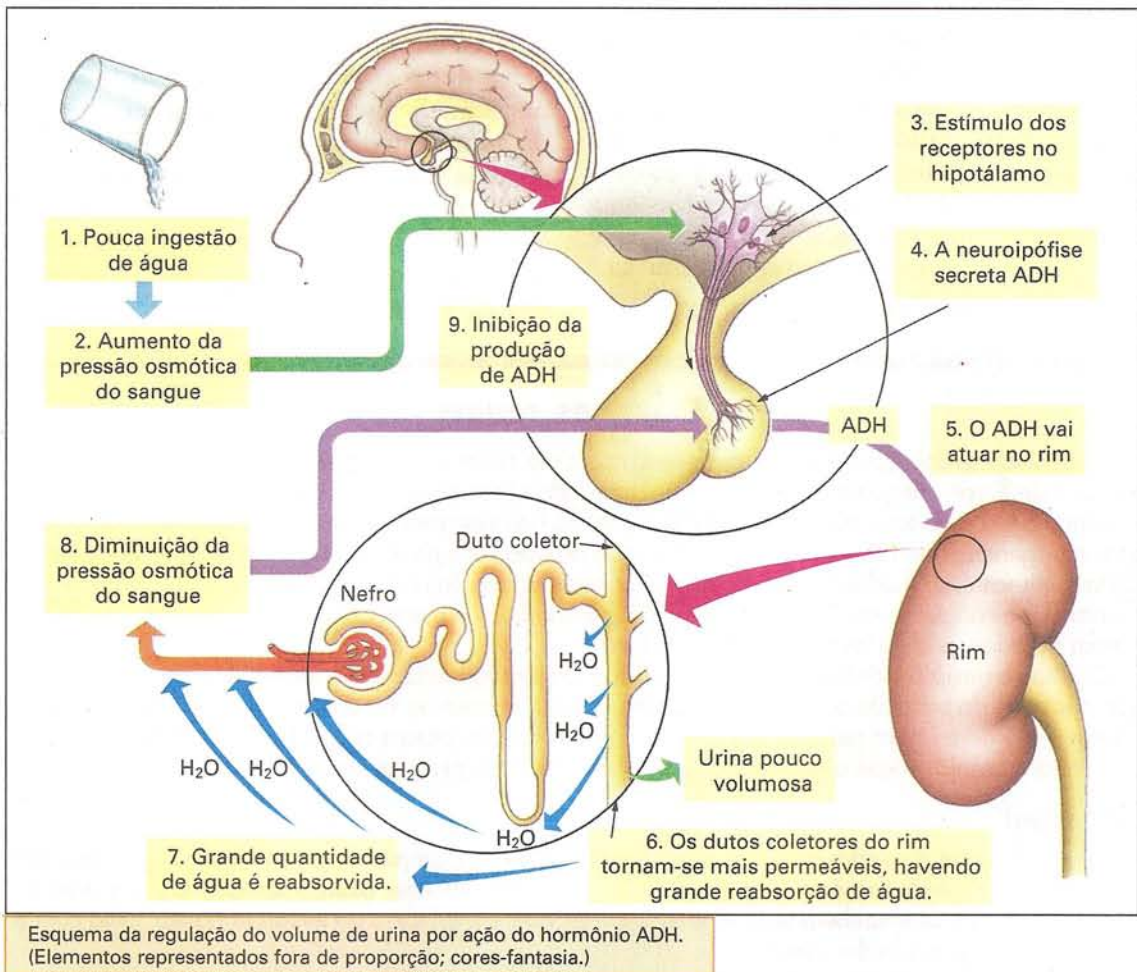
A regulação da função renal está ligada basicamente à regulação da quantidade de líquidos do corpo. Havendo necessidade de reter água no corpo, a urina fica mais concentrada em função da maior reabsorção de água; havendo excesso de água no corpo, a urina fica menos concentrada em função da menor reabsorção de água.

O principal agente fisiológico regulador do equilíbrio hídrico no corpo humano é o **hormônio ADH** (antidiurético), produzido no hipotálamo e armazenado na hipófise.

A concentração do plasma sangüíneo é percebida por receptores osmóticos localizados no hipotálamo. Havendo aumento na concentração do plasma

(pouca água), esses osmorreguladores estimulam a produção de ADH. Esse hormônio passa para o sangue, indo atuar sobre os túbulos distais dos néfrons e sobre os dutos coletores, tornando as células desses túbulos mais permeáveis à água. Conseqüentemente, ocorre maior retenção de água no corpo.

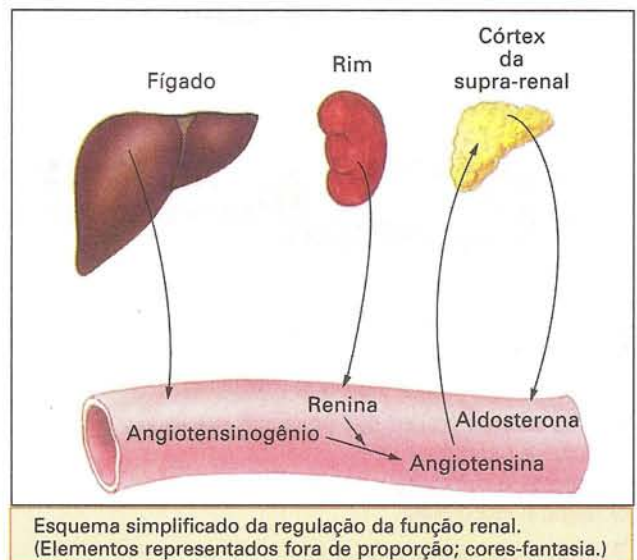
Quando, ao contrário, a concentração do plasma é baixa (muita água), a produção do ADH é inibida e, conseqüentemente, ocorre menor absorção de água nos túbulos distais e nos dutos coletores, possibilitando a eliminação do excesso de água. Assim, a urina fica mais diluída.



Certas substâncias, como o álcool, inibem a secreção de ADH, aumentando a produção de urina. Por isso, quando se ingerem bebidas alcoólicas, a produção de urina é mais abundante.

Além do ADH, outro hormônio participa do equilíbrio de água e sais do corpo humano: a **aldosterona**, produzida pelas glândulas supra-renais. A produção de aldosterona é regulada por dois mecanismos:

- quando há redução de íons Na^+ e de água no sangue, o rim é estimulado a produzir o hormônio **renina**. Esse hormônio age sobre uma proteína denominada **angiotensinogênio** (encontrada no sangue e produzida no fígado), convertendo-a em **angiotensina**. Esta estimula as supra-renais a produzirem a aldosterona.



A aldosterona vai atuar na porção inicial do túbulo contorcido distal, aumentando a taxa de reabsorção ativa de sódio que ocorre normalmente nessa região e corrigindo, dessa forma, o baixo nível de sódio presente no sangue. A saída de sódio para o sangue promove também a saída de água por osmose, regulando a quantidade de água no sangue. Assim, normalizam-se os teores de Na^+ e de água no sangue;

- quando a concentração de potássio no sangue aumenta, há um estímulo direto da supra-renal para produzir aldosterona. Esta vai agir sobre a porção inicial do túbulo contorcido distal, estimulando-o a aumentar a secreção de potássio, que será removido do sangue e passará para a urina.

Além desses hormônios, existe outro que é

produzido no coração: o **peptídeo natriurético atrial**, que aumenta a excreção de sódio e diminui a pressão arterial. Esse hormônio é liberado do coração em resposta a uma expansão do átrio em função do aumento do volume de sangue. Atua aumentando a taxa de filtração glomerular, pois promove a dilatação das arteríolas aferentes. Ele inibe direta e indiretamente a reabsorção de sódio pelos dutos coletores. A inibição indireta ocorre por impedir a secreção de aldosterona pelo córtex da supra-renal ou a liberação de renina, o que reduz a concentração da aldosterona no plasma. O sistema renina-angiotensina age de modo antagônico com o hormônio produzido no coração, para regular a pressão sanguínea e o teor de fluidos corpóreos.

Doenças renais

Existem várias doenças renais, sendo que uma das mais comuns é decorrente de problemas nos glomérulos, que deixam de filtrar adequadamente o sangue, trazendo sérias consequências ao organismo.

Uma redução na taxa de filtração causa perda da homeostase com desequilíbrio no teor de água, sais e excretas nitrogenadas no corpo. A retenção de água provoca edema e, à medida que a concentração de íons hidrogênio aumenta, os fluidos corpóreos tornam-se mais ácidos, falando-se em **acidose**. Excretas nitrogenadas acumulam-se no sangue e nos tecidos, causando uma condição denominada **uremia**. Se a acidose e a uremia não forem tratadas, podem levar a pessoa à morte.

Quando o rim deixa de funcionar, é necessário realizar **diálise**. Uma das formas de diálise é a **hemodiálise**, em que o sangue do paciente circula em uma máquina que remove as impurezas nele presentes. A hemodiálise dura entre 4 e 6 horas e em geral é feita a cada 3 ou 4 dias. Em alguns casos, pode-se tentar o transplante de rim, pois não é desejável que a hemodiálise seja um tratamento prolongado.

Cálculo renal

O cálculo renal ou pedra no rim é uma doença renal causada por uma estrutura cristalina que se forma nas várias partes do trato urinário. Alguns cálculos podem permanecer assintomáticos, não requerendo tratamento. Entretanto, podem também obstruir e ferir partes do trato urinário ao tentarem passar junto com o fluxo normal da urina, causando dor intensa.

Quando um cálculo é muito grande para passar pelo trato urinário, ele pode ser quebrado em partículas pequenas, por exemplo, com raio *laser*.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Diferencie os seguintes tipos de circulação:
 - a) circulação simples e circulação dupla;
 - b) circulação completa e circulação incompleta;
 - c) pequena circulação e grande circulação.
2. Cite os vertebrados que possuem circulação:
 - a) dupla e completa;
 - b) simples e completa;
 - c) dupla e incompleta.
3. Conceitue sístole e diástole.
4. Explique a composição do sangue.
5. Relacione as funções das plaquetas, das hemácias e dos leucócitos.
6. Explique como ocorre a coagulação do sangue.
7. Diga o que é linfa e como ela é transportada no corpo humano.
8. Comente a importância dos linfonodos (gânglios linfáticos).

9. Diferencie os mecanismos de defesa inespecíficos dos específicos.

10. Cite as estruturas que compõem o sistema imunitário humano.

11. Compare imunizações ativa e passiva e dê exemplos.

12. Diga quais são as excretas nitrogenadas e como são a solubilidade e a toxicidade de cada uma.

13. Distribua os diversos grupos de vertebrados em três diferentes categorias de acordo com seu principal produto de excreção nitrogenada. Justifique a diferença em função do ambiente em que o animal vive.

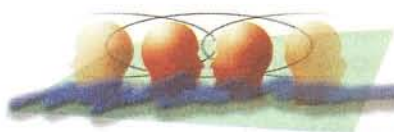
14. Diga qual é a unidade morfofuncional do rim e represente-a de modo esquemático, indicando suas partes.

15. Explique o que ocorre no processo de filtração nos corpúsculos renais e diga quais são as principais substâncias presentes no filtrado glomerular.

16. Explique a ação do ADH na regulação da função renal.

17. Explique a ação da aldosterona na regulação da função renal.

18. Faça um diagrama que mostre a atuação do hormônio produzido no coração na produção de urina.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Doenças cardiovasculares

A alta prevalência das doenças cardiovasculares é hoje observada mundialmente. No Brasil, esse grupo de doenças é a primeira causa de óbitos, que frequentemente resultam de alguma complicação decorrente de **arteriosclerose** (endurecimento das artérias em função do acúmulo de lipídios na parede interna dos vasos).

A arteriosclerose pode afetar qualquer artéria, mas ela ocorre com maior frequência na aorta, nas artérias coronárias e nas cerebrais. À medida que o diâmetro interno da artéria diminui, menor é o volume de sangue capaz de passar por esses vasos. A quantidade de lipídios em alguns casos pode ser tão grande a ponto de bloquear a passagem do sangue.

Com a irrigação reduzida, o tecido passa a apresentar isquemia (falta de irrigação sanguínea). Então, é possível ocorrer a **isquemia cardíaca** e a **cerebral**.

No caso de isquemia cardíaca, em consequência da arteriosclerose das coronárias (vasos que irrigam a musculatura do coração), a pessoa pode apresentar dores, conhecidas como **angina pectoris**.

O ataque do coração é tecnicamente denominado **infarto do miocárdio** e é a consequência mais grave da arteriosclerose nas coronárias. Ele ocorre quando uma parte da musculatura cardíaca pára de funcionar por ficar sem irrigação. A falta de oxigenação por alguns minutos já é suficiente para desencadear o infarto. Nesse caso a pessoa deve receber atendimento mé-

dico imediato. Passada a fase crítica, uma das maneiras para se resolver o problema é realizar a cirurgia de ponte de safena ou de veia mamária. Nela, constrói-se uma ou várias passagens para o sangue no local onde ocorreu o bloqueio da circulação, empregando-se uma das safenas da perna ou de uma das mamárias. Esse tipo de cirurgia prolonga a vida dos indivíduos infartados.

A **fibrilação ventricular** é outra doença cardíaca decorrente de isquemia no coração. Nesse caso, diferentes partes do ventrículo passam a se contrair sem ritmo, perdendo a capacidade de bombear o sangue adequadamente.

A isquemia decorrente da arteriosclerose da artéria cerebral provoca o **acidente vascular cerebral (AVC)**. Dependendo da região do encéfalo que for afetada pela falta de irrigação sanguínea, podem ocorrer manifestações clínicas, como paralisia de um dos lados do rosto e/ou de um dos lados do corpo todo, e perda da fala, entre outras, podendo até mesmo ocorrer a morte.

Não há uma causa única para as doenças cardiovasculares, mas sabe-se que existem fatores que aumentam a probabilidade de sua ocorrência. São os chamados fatores de risco cardiovascular. Os principais são: hipertensão arterial, colesterol alto, tabagismo, diabetes melito, sedentarismo, obesidade, hereditariedade e estresse.

Adaptado de: <http://www.saude.gov.br/programas/cardio/cardio.htm>
e Solomon, Berg & Martin, *Biology*, 5ª ed, 1999.

- A incidência de níveis de colesterol acima do desejado em crianças e jovens vem aumentando ultimamente. É provável que isso esteja relacionado com alimentação inadequada, embora outros fatores também possam estar envolvidos. Procure analisar como está sua alimentação com base nas causas que possam contribuir como fatores de risco para doenças cardiovasculares e discuta esse assunto com seus colegas, professores, pais e médicos.



TESTES

1. (PUC-RJ) Na circulação dos mamíferos, o coração funciona como uma bomba que se contrai e se relaxa ritmicamente. O sangue bombeado percorre todo o corpo numa seqüência constante. Indique a afirmação correta entre as abaixo apresentadas.

- a) O sangue venoso passa do átrio para o ventrículo direito e de lá é bombeado para a artéria pulmonar.
- b) A artéria pulmonar se ramifica levando o sangue arterial para o pulmão, onde ocorre a hematose.
- c) O sangue arterial volta ao coração pela aorta, entrando pelo átrio direito e recomeçando o trajeto.
- d) É chamada pequena circulação a via que leva o sangue arterial aos tecidos e traz de volta o sangue venoso para o coração.
- e) O sangue venoso é vermelho vivo devido à combinação da hemoglobina com o oxigênio, enquanto o sangue arterial é azul escuro.

2. (Unifor-CE) O sangue é constituído por plasma e 3 tipos de elementos celulares. As hemácias realizam (1), os (2) são especializados na defesa do organismo e as plaquetas atuam no processo de (3). Para completar corretamente a frase acima, 1, 2 e 3 devem ser substituídos, respectivamente, por:

- a) transporte de oxigênio, leucócitos e coagulação.
- b) osmose, dendritos e fagocitose.
- c) sínteses, monócitos e fosforilação.
- d) respiração celular, glóbulos vermelhos e absorção.
- e) coagulação, amebócitos e transporte de gás carbônico.

3. (UFPI) Qual a seqüência correta para a coagulação do sangue nos vertebrados?

- a) Plaquetas, fibrinogênio, protrombina, fibrina, trombina.
- b) Trombina, plaquetas, fibrinogênio, protrombina, fibrina.
- c) Plaquetas, protrombina, trombina, fibrinogênio, fibrina.
- d) Plaquetas, fibrina, fibrinogênio, trombina, protrombina.
- e) Fibrinogênio, plaquetas, protrombina, fibrina, trombina.

4. (UFES) São funções do sistema linfático:

- I — drenagem de líquidos dos tecidos;
- II — retenção de partículas estranhas e células mortas;
- III — proteção do organismo contra agentes infecciosos.

Está(ão) correta(s):

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) II e III.
- d) I, II e III.
- e) apenas III.

5. (UFRRN) Duas crianças foram levadas a um Posto de saúde: uma delas, para se prevenir contra poliomielite; a outra, para atendimento, em virtude de uma picada de serpente peçonhenta. Indique o que deve ser aplicado em cada criança, **respectivamente**.

- a) Vacina (porque contém antígenos) e soro (porque contém anticorpos).

- b) Soro (porque contém antígenos) e vacina (porque contém anticorpos).
- c) Vacina (porque contém anticorpos) e soro (porque contém antígenos).
- d) Soro (porque contém anticorpos) e vacina (porque contém antígenos).

6. (Fatec-SP) A excreção é o processo pelo qual os animais eliminam substâncias nitrogenadas tóxicas produzidas durante o metabolismo celular. Alguns animais excretam amônia e outros transformam a amônia em uréia e ácido úrico. Acerca desse processo foram feitas as seguintes afirmações:

- I — A amônia é altamente tóxica e solúvel, assim este tipo de excreta ocorre apenas em animais aquáticos.
- II — A uréia é o principal excreta de aves, insetos e répteis.
- III — O ácido úrico pode ser excretado sem que haja perda de água, o que constitui uma importante adaptação para a economia de água.

Dessas afirmações, somente está (estão) correta(s):

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) I.
- d) II.
- e) III.

7. (Fuvest-SP) O sangue, ao circular pelo corpo de uma pessoa, entra nos rins pelas artérias renais e sai delas pelas veias renais. O sangue das artérias renais:

- a) é mais pobre em amônia do que o sangue das veias renais, pois nos rins ocorre síntese dessa substância pela degradação de uréia.
- b) é mais rico em amônia do que o sangue das veias renais, pois nos rins ocorre degradação dessa substância que se transforma em uréia.
- c) é mais pobre em uréia do que o sangue das veias renais, pois os túbulos renais secretam essa substância.
- d) é mais rico em uréia do que o sangue das veias renais, pois os túbulos renais absorvem essa substância.
- e) tem a mesma concentração de uréia e de amônia que o sangue das veias renais, pois essas substâncias são sintetizadas no fígado.

8. (UFJF-MG) Os animais desenvolveram, durante sua evolução, adaptações que lhes permitem o desempenho das seguintes funções:

- I — Eliminação de subprodutos do metabolismo celular.
- II — Manutenção de diferentes íons, em concentrações adequadas, no organismo.
- III — Manutenção da água corporal em quantidade adequada.

Considerando as funções acima, o **sistema excretor** está relacionado:

- a) apenas com I.
- b) apenas com I e III.
- c) apenas com II e III.
- d) com I, II e III.

9. (UFPI) Há uma desordem hormonal chamada diabetes insípido, que é causada por uma falha na produção do hormônio antidiurético (ADH). Indique a alternativa que descreve corretamente as consequências dessa desordem:

- a) aumento da produção de urina e diminuição do volume dos fluidos corporais.
- b) falta de sede e diminuição do volume dos fluidos corporais.
- c) aumento na concentração de glicose sangüínea e perda de peso.
- d) diminuição da concentração de insulina sangüínea e aumento da glicose sangüínea.

e) aumento da concentração de insulina sangüínea e diminuição da glicose sangüínea.

10. (UFMG) Na prática médica, a utilização de sanguessugas como agentes indutores de sangramento remonta ao ano 180 a.C. Atualmente, as sanguessugas têm sido usadas na prevenção de necrose tecidual, após cirurgias reparadoras. Considerando-se essa situação, é correto supor que o uso de sanguessugas se deve à:

- a) redução da oxigenação dos tecidos lesados.
- b) estimulação da atividade da trombina.
- c) ação anestésica, visando-se a redução da dor.
- d) prevenção da coagulação sangüínea.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Fuvest-SP) O sistema circulatório dos vertebrados é constituído por uma complexa rede de vasos sangüíneos distribuída por todo o corpo.

- a) Que tipo de vaso sangüíneo palpamos quando tomamos a pulsação de uma pessoa? O que significa essa pulsação?
- b) Descreva a estrutura básica de uma veia humana e explique como o sangue flui através dela.

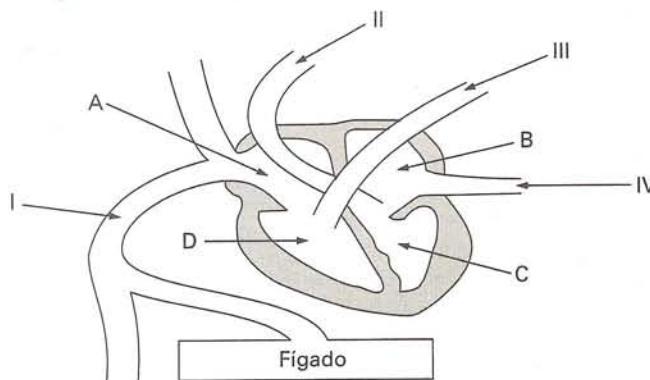
2. (UFPB — mod.) Em um exame médico de rotina, um jovem descobre que sua pressão arterial é igual a 12/8 e que sua frequência de batimentos cardíacos é de 70 batimentos/minuto. Qual o significado fisiológico do valor 12/8 obtido para a pressão arterial?

3. (Unicamp-SP — mod.) “Muitas espécies são introduzidas em um ambiente sem que haja uma avaliação dos riscos associados a essa prática. Isso tem acontecido em larga escala com peixes pelo mundo todo. A truta arco-íris já foi introduzida em 82 países, uma espécie de tilápia em 66 países e a carpa comum em 59 países.” (*Ciência Hoje*, 21 (124): 36-44, 1996)

Caracterize os peixes quanto à anatomia do coração, quanto ao tipo de sistema respiratório e quanto ao tipo de sistema circulatório.

4. (UFPB) Os vertebrados apresentam sistema circulatório fechado, em que o sangue circula dentro de vasos sangüíneos. Apresentam um coração como órgão central da circulação, que é a responsável pela distribuição de gases, hormônios e outras substâncias para todo o corpo. As principais modificações que ocorrem entre os diferentes sistemas circulatórios dos vertebrados adultos referem-se às estruturas anatômicas do coração e aos vasos que partem dele. Em forma de texto ou esquema, explique como ocorre a circulação nas aves.

5. (Fuvest-SP) A figura abaixo esquematiza o coração de um mamífero:



- a) Em qual das câmaras do coração, identificadas por A, B, C e D, chega o sangue rico em gás oxigênio?
- b) Em qual dessas câmaras chega o sangue rico em gás carbônico?
- c) Qual dos vasos, identificados por I, II, III e IV, leva sangue do coração para os pulmões?
- d) Qual desses vasos traz sangue dos pulmões?

6. (Vunesp-SP) João e José foram ao Estádio do Morumbi assistir a um jogo de futebol. Pouco antes do início do jogo, ambos foram ao sanitário do Estádio e urinaram. Durante o primeiro tempo do jogo, João tomou duas latinhas de refrigerante e José, duas latinhas de cerveja. No intervalo da partida, ambos foram novamente ao sanitário e urinaram; antes do término do jogo, porém, José precisou urinar mais uma vez. Sabendo que ambos gozavam de boa saúde, responda às seguintes questões:

- a) Por que o fato de José ter ingerido bebida alcoólica fez com que ele urinasse mais vezes que João?
- b) A urina, uma vez formada, percorre determinados órgãos do aparelho excretor humano. Qual a trajetória da urina, desde sua formação até sua eliminação pelo organismo?

7. (Unicamp-SP) O controle do volume de líquido circulante em mamíferos é feito através dos rins, que ou eliminam o excesso de água ou reduzem a quantidade de urina produzida quando há deficiência de água. Além disso, os rins são responsáveis também pela excreção de vários metabólitos e íons.

- a) Qual é o hormônio responsável pelo controle do volume hídrico do organismo? Onde ele é produzido?
- b) Qual é o mecanismo de ação desse hormônio?
- c) Qual é o principal metabólito excretado pelos rins? De que substâncias esse metabólito se origina?

8. (UFRJ) A dificuldade dos fumantes em abandonar o consumo de cigarros tem sido associada a diversos fatores relacionados à dependência induzida pela nicotina. A nicotina inalada atravessa facilmente os alvéolos e atinge o cérebro mais rapidamente do que se fosse injetada por via intravenosa. No cérebro ela atua em áreas associadas às sensações de prazer, levando o fumante à busca da repetição deste estímulo. Esta peculiaridade da nicotina torna o fumante altamente dependente de estímulos freqüentes e dificulta a superação da crise de abstinência.

Explique por que a nicotina inalada, após atingir a circulação, chega ao cérebro mais rapidamente do que se fosse injetada por via intravenosa.



Coordenação e regulação

1. Noções gerais

Os sistemas **nervoso** (ou **neural**) e **endócrino** (ou **hormonal**) estão envolvidos na coordenação e na regulação das funções dos animais.

No sistema nervoso a unidade morfológica e funcional é a **célula nervosa** ou **neurônio**, que recebe e transmite com rapidez e eficiência o **impulso nervoso**, uma “mensagem elétrica” que determina resposta imediata do órgão que a recebe.

Associado ao sistema nervoso está o **sistema sensorial**, formado por um conjunto de estruturas que permitem a percepção de estímulos provenientes do exterior ou do interior do corpo.

As unidades morfológicas do sistema endócrino são as **glândulas endócrinas**, estruturas uni ou pluricelulares que lançam seus produtos (secreções) diretamente na corrente sangüínea. Quando pluricelulares, podem formar estruturas individualizadas, como a **glândula tireóidea**, ou constituir grupos de células que participam da formação de outros órgãos, como as **ilhas pancreáticas** (ilhas de Langerhans), que fazem parte do pâncreas.

As secreções produzidas pelas glândulas endócrinas são chamadas **hormônios**, que podem ser considerados as unidades funcionais do sistema endócrino.

Os hormônios são **mensageiros químicos** transportados pela corrente sangüínea e atuam inibindo ou estimulando órgãos específicos, denominados **órgãos-alvo**.

No corpo dos animais existem outros tipos de glândulas, denominadas **exócrinas**, cujas secreções não são hormônios. Essas glândulas diferem das endócrinas por possuírem dutos que conduzem a secreção para o exterior da glândula. São exócrinas, por exemplo, as glândulas sudoríparas, presentes na pele dos mamíferos, e as glândulas que produzem substâncias com função digestiva.

Uma das diferenças entre o sistema nervoso e o endócrino é o tempo necessário para que o estímulo atinja o órgão-alvo e ocorra a resposta: enquanto um impulso nervoso pode percorrer o corpo em milésimos de segundo, o hormônio pode levar segundos ou até minutos para realizar essa função.

2. Sistema nervoso

O sistema nervoso dos vertebrados origina-se do ectoderma embrionário e localiza-se na região dorsal do corpo. É formado por:

- uma **Parte Central**, também chamada **Sistema Nervoso Central (SNC)**, que compreende o **encéfalo** e a **medula espinhal**;
- uma **Parte Periférica**, também chamada **Sistema Nervoso Periférico (SNP)**, que compreende os **nervos cranianos**, que partem do encéfalo, e os **nervos espinhais (raquidianos)**, que partem da medula espinhal;
- uma **Divisão Autônoma**, também chamada **Sistema Nervoso Autônomo (SNA)**, responsável pela inervação de glândulas, dos músculos lisos e do músculo cardíaco.

2.1. Parte Central do sistema nervoso

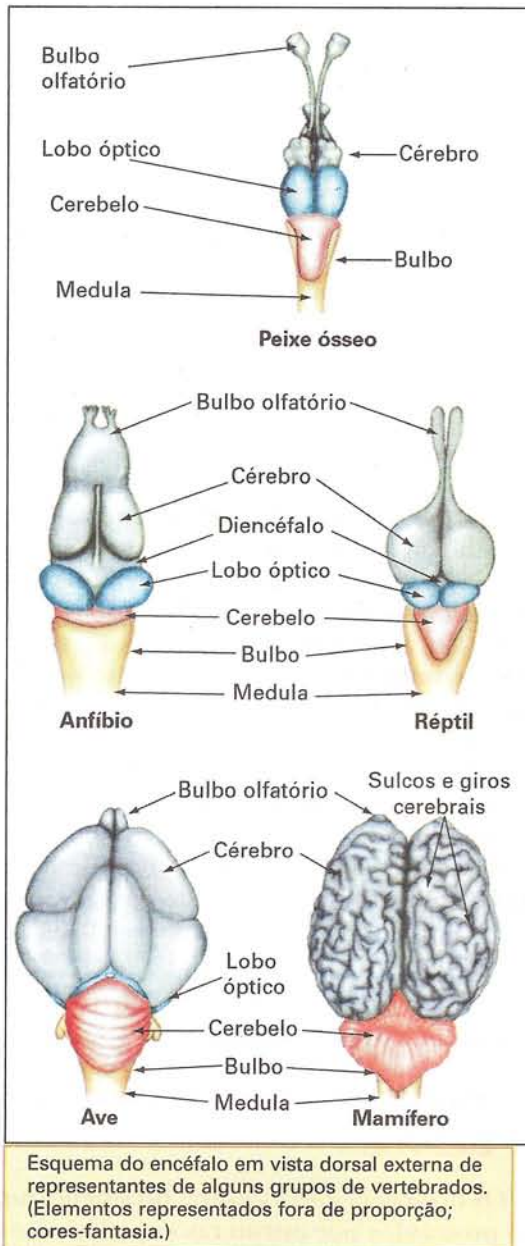
Os órgãos da Parte Central do sistema nervoso são protegidos por estruturas esqueléticas e por membranas denominadas **meninges**.

O encéfalo é protegido pela **caixa craniana** e a medula espinhal é protegida pela **coluna vertebral**, também denominada **raque**.

Sob a proteção esquelética estão as meninges **dura-máter** (externa), **aracnóide** (do meio) e **pia-máter** (interna). Entre a aracnóide e a pia-máter há um espaço preenchido por um líquido denominado **líquido cefalorraquidiano** (líquido **cérebro-espinhal**) ou **líquor**.

O encéfalo é formado por telencéfalo (ou cérebro), diencéfalo (onde estão o tálamo e o hipotálamo), mesencéfalo, metencéfalo (ou cerebelo) e mielencéfalo (ou medula oblonga ou ainda bulbo).

A figura a seguir mostra de modo simplificado esquemas do encéfalo de grupos de vertebrados:



O **telencéfalo** ou **cérebro** é bem desenvolvido nas aves e nos mamíferos, enquanto nos demais vertebrados é proporcionalmente menor, sendo basicamente o centro do olfato, com bulbo olfatório (ou olfactório) bem desenvolvido.

Nas aves, a área associada ao olfato é pequena, mas a porção relacionada com o controle dos comportamentos inatos e reflexos é muito desenvolvida.

Nos mamíferos o telencéfalo está relacionado com a memória, com a inteligência e com os centros sensitivos e motores. O córtex cerebral apresenta grande aumento de superfície e dá origem aos sulcos e giros cerebrais (**circunvoluções cerebrais**).

O **diencéfalo** possui dois centros nervosos principais:

- **tálamo**: área de retransmissão de informações provenientes do corpo para serem processadas no cérebro; uma evaginação dorsal dessa área forma o **órgão pineal**, glândula endócrina que nos vertebrados primitivos era um fotorreceptor;
- **hipotálamo**: controla a temperatura corporal, o balanço hídrico e o apetite, e interfere nas atividades dos órgãos viscerais; exerce efeito controlador sobre uma importante glândula do corpo, a **hipófise** (ou **glândula pituitária**), e através dela controla várias atividades do organismo. No hipotálamo os nervos ópticos, procedentes dos olhos, cruzam-se e depois se dirigem para o cérebro. Esse cruzamento denomina-se **quiasma óptico**.

Em todos os vertebrados, com exceção dos mamíferos, o **mesencéfalo** é o centro da visão, sendo formado basicamente por dois **lóbulos ópticos** situados dorsalmente, onde terminam feixes nervosos provenientes dos olhos. Nos mamíferos esses lóbulos formam os **colículos** (**tubérculos quadrigêmeos**), que correspondem apenas a uma região de passagem dos nervos ópticos, os quais vão terminar na parte posterior dos hemisférios cerebrais. Portanto, nos mamíferos o mesencéfalo **não** é o centro visual e está envolvido na recepção e coordenação de informações sobre a postura corporal.

O **metencéfalo** ou **cerebelo** é encarregado de coordenar funções motoras que exijam grande precisão e rapidez, como a locomoção. Exerce o controle do equilíbrio corporal, do tônus e do vigor muscular. Nos vertebrados muito ativos, como peixes bons nadadores, aves e mamíferos, ele é bem desenvolvido.

Na base do cerebelo existe uma estrutura chamada **ponte** (**ponte de Varolio**), onde ocorre o cruzamento das vias motoras, que na medula espinhal passam a ocupar o lado contrário do que ocupam no cérebro. Desse modo, o lado esquerdo do cérebro controla o lado direito do corpo e vice-versa.

O **mielencéfalo** (**medula oblonga** ou **bulbo**) é considerado um centro vital, pois controla a respiração e a digestão, além de influir nos batimentos cardíacos. Exerce também influência em certos atos reflexos, como a deglutição, o vômito, a sucção e a tosse.

2.2. Parte Periférica do sistema nervoso

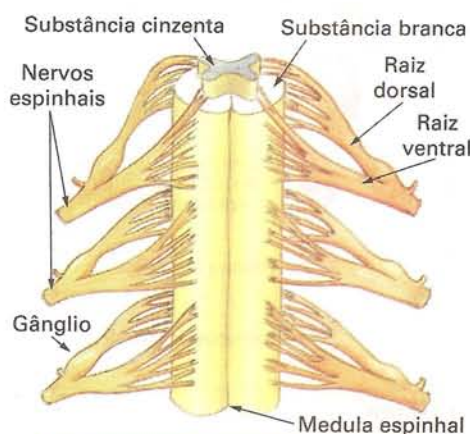
Os nervos cranianos e espinhais apenas transmitem mensagens entre as diferentes partes do corpo e os centros nervosos, localizados no encéfalo e na medula.

No sistema periférico podem ser encontrados **gânglios nervosos**, que são reuniões de corpos celulares de neurônios que ficam fora do SNC.

Os nervos cranianos podem ser:

- **sensitivos:** possuem apenas fibras nervosas transmissoras de mensagens dos órgãos para os centros nervosos (fibras sensitivas ou aferentes);
- **motores:** possuem apenas fibras nervosas que transmitem mensagens dos centros nervosos para os órgãos (fibras motoras ou eferentes);
- **mistos:** possuem tanto fibras sensitivas quanto motoras.

Os nervos espinhais são todos **mistos**, cada um formado por uma **raiz sensitiva** e uma **raiz motora**, que saem da medula e logo se unem. A raiz posterior, ou dorsal, é sensitiva; a raiz anterior, ou ventral, é motora.



Esquema da medula espinhal e dos nervos espinhais (cores-fantasia).

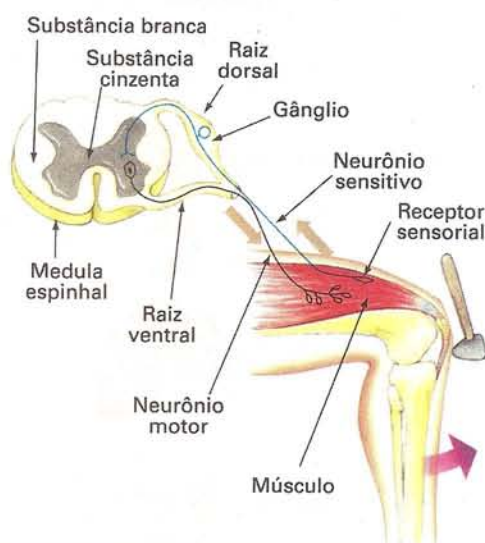
Atos voluntários e atos reflexos

Existem atos voluntários, isto é, dependentes da nossa vontade, e atos involuntários ou reflexos, independentes da nossa vontade.

Os atos voluntários são comandados pela substância cinzenta do cérebro, de onde a ordem motora passa para a substância branca da medula e, em seguida, para os nervos espinhais, através dos quais chega a um órgão determinando sua reação.

Os atos reflexos ou involuntários são comandados pela substância cinzenta da medula espinhal ou da medula oblonga (bulbo). São realizados antes que o cérebro tome conhecimento deles.

Um ato reflexo bem conhecido é o **reflexo patelar**: um leve toque no joelho faz a perna levantar, sem que tomemos consciência desse movimento. O toque estimula fibras sensitivas de um nervo espinhal, que transmite esse estímulo até a substância cinzenta da medula, onde é transformado em ordem motora, que é transmitida aos músculos através da fibra motora do mesmo nervo espinhal. Esse trajeto percorrido pelo impulso nervoso forma um arco, denominado **arco reflexo**.



Esquema de reflexo patelar. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

2.3. Divisão Autônoma do sistema nervoso

A porção eferente ou motora do sistema periférico, que leva sinais do sistema nervoso central para órgãos internos do corpo que tenham musculatura lisa ou cardíaca ou mesmo para glândulas, forma a **Divisão Autônoma** do sistema nervoso, também chamada **Sistema Nervoso Autônomo (SNA)**.

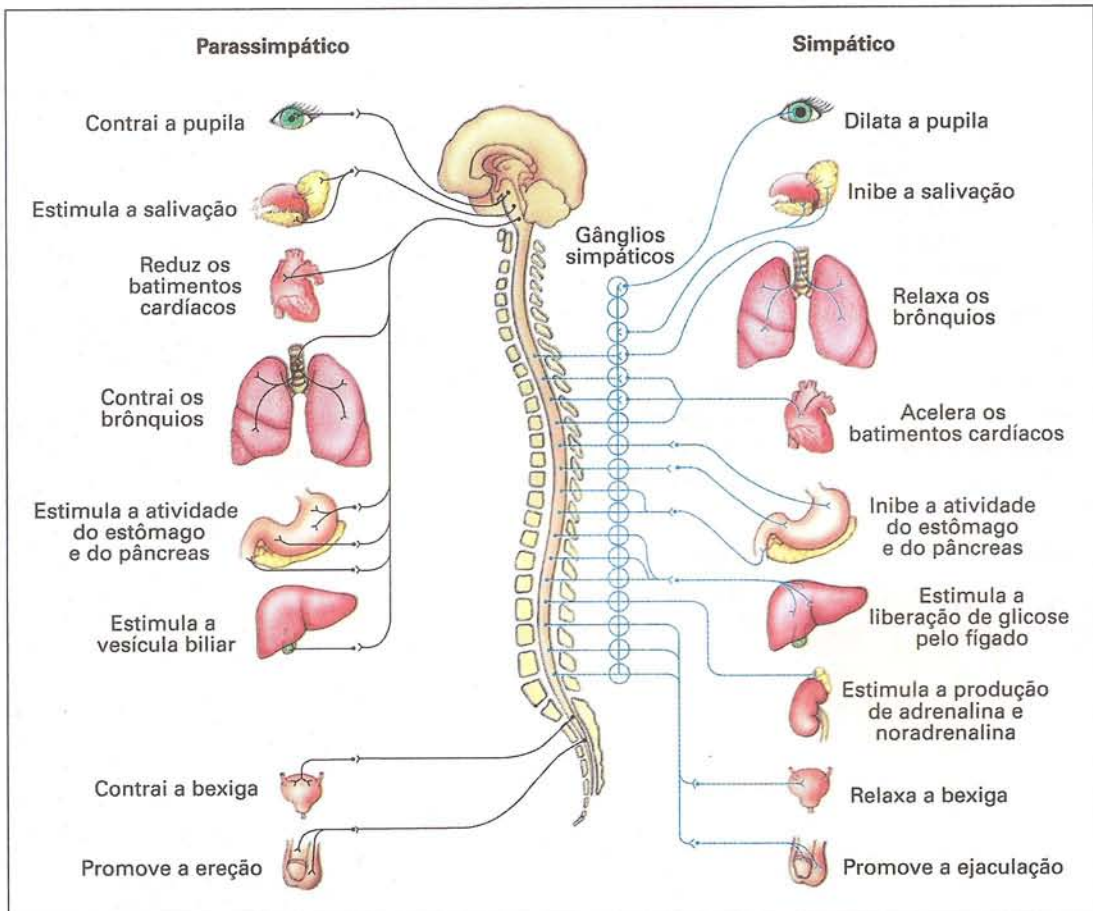
Essa divisão relaciona-se com funções cujo controle não depende de nossa vontade (funções autônomas). Ela é fundamental no controle do meio interno do corpo, como a regulação da atividade glandular, da contração da musculatura cardíaca, da digestão, da excreção e de outras funções, sem que tomemos consciência disso.

O sistema autônomo é dividido em duas partes, a **simpática** e a **parassimpática**, que agem de forma antagônica, de modo a manter a homeostase do organismo. Esse efeito antagônico é conseguido graças principalmente aos mediadores químicos de efeitos opostos liberados pelas fibras:

- as simpáticas liberam **noradrenalina** (adrenérgicas);
- as parassimpáticas liberam **acetilcolina** (colinérgicas).

A atividade simpática prepara o corpo para a ação, seja ela de defesa ou de ataque. Percebe-se essa atividade em situações emocionais ou de emergência: as pupilas dilatam-se, a boca fica seca, há aumento da pressão sanguínea e nos batimentos cardíacos, a respiração fica mais profunda, ocorre vasoconstrição na pele e dilatação dos vasos que conduzem sangue para o trato gastrointestinal, o coração, o encéfalo, os pulmões e os músculos esqueléticos.

A atividade parassimpática está primariamente relacionada com a recuperação, a conservação e o repouso dos órgãos vitais. Por exemplo, ela ativa o sistema digestório, contrai a pupila, protegendo a retina da luz, e reduz os batimentos cardíacos, contribuindo para o repouso do coração.



Esquema das principais vias simpáticas e parassimpáticas na espécie humana. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

3. Sistema sensorial

O sistema sensorial recebe estímulos que são transmitidos ao encéfalo, onde são interpretados e transformados em sensações.

De acordo com os estímulos aos quais respondem, os receptores sensoriais podem ser classificados em:

- **mecanorreceptores** (respondem a estímulos mecânicos, especialmente pressão);
- **termorreceptores** (respondem à variação de temperatura);

- **quimiorreceptores** (transmitem informações sobre substâncias químicas dissolvidas no meio);
- **fotorreceptores** (detectam luz);
- **receptores de dor**.

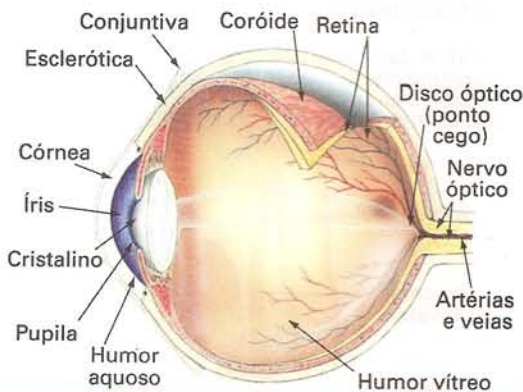
Na pele humana, por exemplo, existem mecanorreceptores, termorreceptores e receptores de dor. Em conjunto, eles recebem todos os estímulos que proporcionam a sensação conhecida por **tato**.

Os quimiorreceptores estão relacionados principalmente com o paladar e o olfato.

Os quimiorreceptores relacionados com o paladar situam-se na língua. São conhecidos por **papilas gustativas** e nos permitem distinguir quatro sabores: salgado, doce, amargo e azedo. Para que sejam percebidas pelas papilas gustativas, as substâncias químicas precisam ser solúveis nos líquidos da boca.

Os quimiorreceptores relacionados com o olfato situam-se no teto das cavidades nasais e constituem o epitélio olfatório. As substâncias químicas precisam estar dissolvidas no ar que entra pelas cavidades nasais para que possam impressionar esses quimiorreceptores.

Nos vertebrados, os fotorreceptores localizam-se nos olhos. O olho é um órgão globoso delimitado por três camadas (de fora para dentro): **esclera** (esclerótica), **coróide** e **retina**. Nesta última camada localizam-se as células fotorreceptoras, que recebem os estímulos luminosos e os encaminham a uma região não-sensível à luz denominada **disco óptico**. Dessa região parte o nervo óptico, que leva os estímulos ao cérebro, onde são decodificados e transformados em sensações.

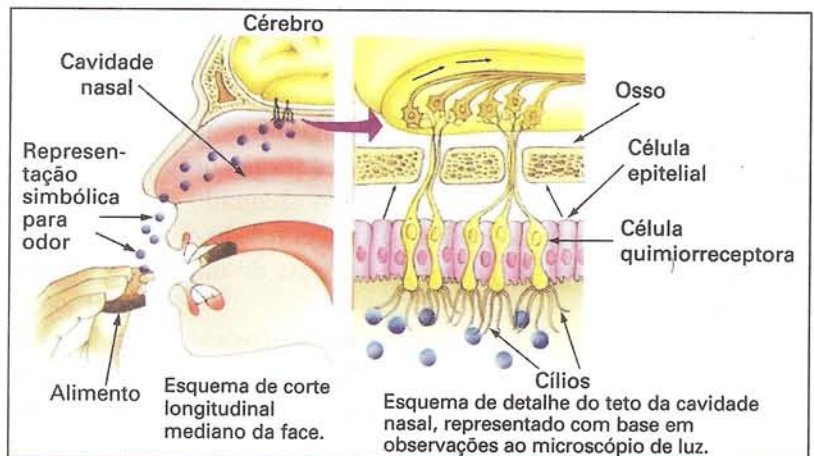


Esquema da estrutura do olho humano, representado em corte longitudinal mediano (cores-fantasia).

As células fotorreceptoras são:

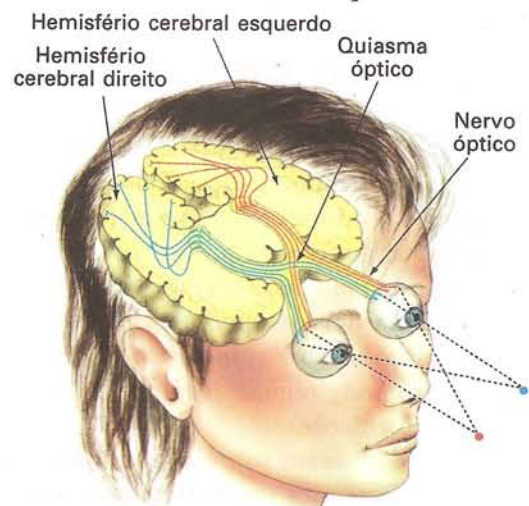
- **cones:** proporcionam a percepção de cores, mas essa função é prejudicada à noite ou em baixa luminosidade;
- **bastonetes:** muito sensíveis à luz, permitem a visão mesmo com baixa luminosidade.

Os nervos ópticos, provenientes um de cada olho, cruzam-se no **quiasma óptico**. Nesse ponto, cada nervo envia parte de suas fibras para o hemisfério cerebral direito e parte para o hemisfério cerebral esquerdo. Dessa forma, os dois hemisférios recebem estímulos luminosos captados por ambos os



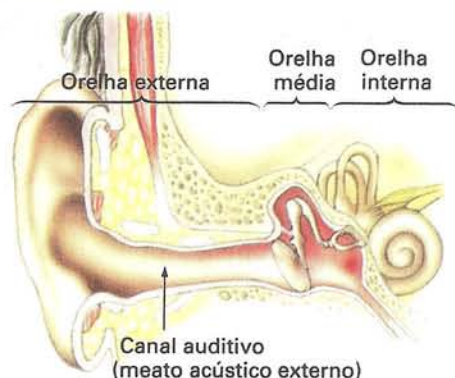
Esquema das estruturas relacionadas ao olfato e ao paladar humano (cores-fantasia).

olhos, de modo que ocorre sobreposição de imagens vistas em ângulos diferentes, proporcionando a visão tridimensional ou estereoscópica.



Esquema do cérebro humano em corte transversal para destacar o quiasma óptico (cores-fantasia).

A recepção dos estímulos sonoros é feita pelas orelhas (ouvidos), que nos mamíferos são consideradas em três regiões: **orelha externa**, **orelha média** e **orelha interna**.



Esquema da orelha humana com algumas estruturas vistas em corte (cores-fantasia).

A orelha externa e a média são importantes para a captação e condução do som, que deve chegar até a orelha interna, onde estão as células sensoriais receptoras do estímulo sonoro. Essas células formam uma estrutura conhecida por **órgão espiral** (órgão de Corti), situado em um órgão complexo chamado **cóclea**. Esta é composta de um longo tubo enrolado e preenchido por líquido, lembrando a forma de um caracol.

Do órgão espiral parte o **nervo vestibulococlear** (auditivo), que leva os estímulos sonoros ao cérebro. Este os decodificará e os transformará em sensação sonora, caracterizando a audição.

Na orelha interna existem também o **utrículo**, o **sáculo** e os **três canais semicirculares** distribuídos nas três dimensões do espaço. Essas estruturas possu-

em líquido em seu interior e células sensoriais ciliadas.

Os movimentos da cabeça provocam deslocamento do líquido existente nessas estruturas, estimulando as células sensoriais. Esse estímulo é enviado ao cérebro pelo nervo vestibular e lá é decodificado, com informações importantes a respeito da posição do corpo.

Quando giramos o corpo e paramos bruscamente, temos a sensação de que continuamos a girar. Isso ocorre graças ao princípio da inércia, pois esse líquido continua se movimentando por algum tempo mesmo depois de termos cessado o movimento do corpo. Assim, o cérebro continua recebendo da orelha a informação de que ainda estamos girando. Somente quando a movimentação do líquido se regulariza é que retomamos o equilíbrio.

4. Sistema endócrino

O sistema endócrino dos vertebrados é complexo, com grande número de glândulas endócrinas. Os hormônios produzidos por essas glândulas influenciam praticamente todas as funções do organismo, interagindo com o sistema nervoso.

O sistema nervoso pode fornecer ao endócrino informações sobre o meio externo, e o sistema endócrino pode regular a resposta do organismo a essas informações.

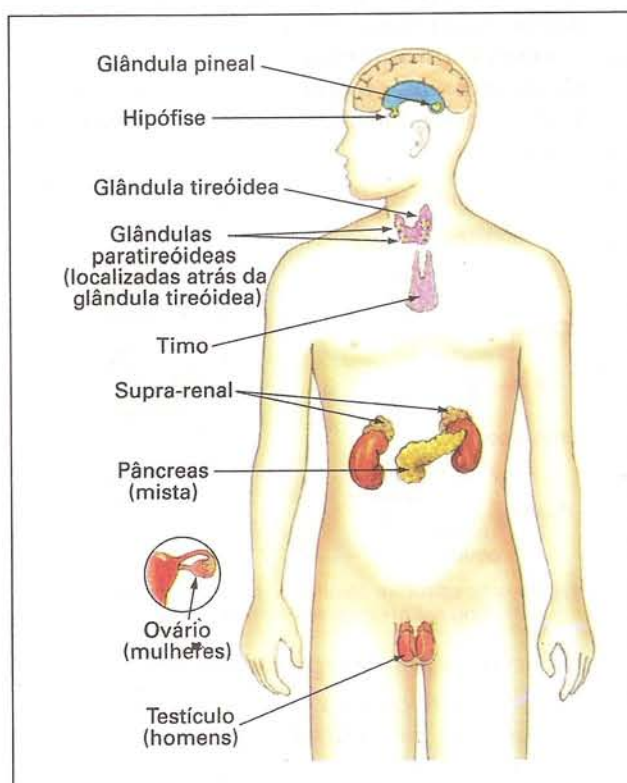
Além de atuarem sobre órgãos não-endócrinos, alguns hormônios dos vertebrados atuam sobre outras glândulas endócrinas, comandando a secreção de outros hormônios.

Os hormônios que estimulam a secreção de outras glândulas endócrinas são denominados **hormônios trópicos**. Nos vertebrados, os principais são produzidos pela **hipófise**. São eles:

- **tireoideotrópicos**, que atuam sobre a glândula tireóide;
- **adrenocorticotrópicos**, que atuam sobre o córtex das glândulas adrenais (supra-renais);
- **gonadotrópicos**, que atuam sobre as gônadas masculinas (testículos) e femininas (ovários).

As principais glândulas endócrinas dos vertebrados, tomando como exemplo o ser humano, estão representadas na figura ao lado.

Além delas, existem órgãos que também sintetizam hormônios, atuando secundariamente como órgãos endócrinos. É o caso do coração, do estômago, do intestino delgado e dos rins. O hipotálamo, região do encéfalo, também produz hormônios.



Esquema mostrando a localização aproximada das glândulas humanas produtoras de hormônios. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

A tabela a seguir apresenta um resumo dos principais órgãos produtores de hormônios, indicando onde e como esses hormônios atuam.

Estruturas endócrinas		Hormônios	Funções
Hipófise (glândula pituitária): localizada na base do crânio. Tem o tamanho aproximado de uma ervilha e liga-se ao hipotálamo por um pedúnculo. Possui dois lobos bem desenvolvidos: o anterior, adenopófise , e o posterior, neuroipófise . Somente a adenoipófise produz hormônios.		Adrenocorticotrópico (ACTH)	Age sobre as adrenais no controle do balanço hídrico do corpo.
		Tireoideotrópico (TSH)	Age sobre a glândula tireóidea, aumentando a taxa do metabolismo.
		Folículo estimulante (FSH)	No homem, contribui para a espermatogênese em presença de testosterona. Na mulher, estimula os folículos ovarianos a produzirem óvulos.
		Luteinizante (LH)	Age sobre as gônadas, estimulando seu desenvolvimento. Estimula a produção de andrógenos (hormônios sexuais masculinos), principalmente a testosterona.
		Hormônio do crescimento (GSH) ou somatotropina	Estimula o crescimento. Seu excesso durante a puberdade determina o gigantismo , e sua falta provoca o nanismo . Nos adultos, o excesso desse hormônio pode causar crescimento anormal em algumas regiões do corpo, como a mandíbula, as mãos e os pés, anomalia denominada acromegalia .
		Prolactina	Estimula a secreção de leite nos mamíferos.
Hipotálamo: região do encéfalo onde há produção de hormônios que ficam armazenados na neuroipófise ou atuam sobre a adenoipófise, estimulando ou inibindo suas secreções. Estes são genericamente chamados hormônios de liberação.		Ocitocina	Armazenado na neuroipófise, estimula as contrações uterinas.
		Hormônio antidiurético (ADH ou vasopressina)	Armazenado na neuroipófise, estimula a reabsorção de água pelos dutos coletores dos rins, deixando a urina mais concentrada. A carência desse hormônio causa a doença diabetes insípido , na qual a pessoa apresenta grande aumento do fluxo urinário, provocando muita sede geralmente acompanhada de grande apetite e perda de força muscular.
Glândula tireóidea: estrutura em forma de U; cada braço do U mede cerca de 5 cm de comprimento e está disposto de um lado da laringe e da traquéia. Essa glândula tem seu funcionamento estimulado pelo hormônio tireoideotrópico produzido pela hipófise.		Tiroxina (T4) e triiodotironina (T3). Para a síntese desses hormônios é necessária a ingestão de iodo, cuja carência pode provocar aumento da glândula tireóidea.	Atuam sobre o metabolismo. Quando em excesso, causam hipertireoidismo (nervosismo excessivo, aumento do ritmo cardíaco e perda de peso); quando insuficientes, causam o hipotireoidismo (pele seca, cansaço excessivo e intolerância ao frio; bócio , que vem sendo evitado com a adição de iodo ao sal de cozinha; na infância pode causar o cretinismo , caracterizado por deficiência mental e nanismo).
		Calcitonina	Diminui o teor de cálcio no sangue quando esse íon está em excesso.
Glândulas paratireóideas: dois pares de pequenas estruturas com cerca de 5 mm de comprimento por 3 mm de largura e 2 mm de espessura, localizadas na face posterior da glândula tireóidea.		Paratormônio (hormônio paratireoideano)	Aumenta o teor de cálcio no sangue quando esse íon está em baixa concentração. Seu mecanismo de ação é antagônico ao da calcitonina.
Supra-renais (adrenais): duas, uma sobre cada um dos rins. Formadas por duas regiões distintas: a cortical (periférica) e a medular (central) .	CÓRTEX	Glicocorticóides	Relacionados com o metabolismo de glicose; atuam também como antiinflamatórios.
		Mineralocorticóides (o principal é a aldosterona)	Atuam no controle dos níveis dos íons sódio e potássio no sangue, interferindo na retenção ou perda de água pelo organismo.
		Hormônios sexuais masculinos (andrógenos)	Atuam sobre os caracteres sexuais secundários masculinos. O excesso desses hormônios em mulheres pode provocar o aparecimento de barba e de outras características masculinas secundárias.
	MEDULA	Adrenalina (epinefrina)	Determina vasoconstrição periférica, taquicardia, rápido aumento da taxa metabólica, aumento do estado de alerta e diminuição das atividades digestivas e renais.

Estruturas endócrinas	Hormônios	Funções
Pâncreas: glândula mista. A região endócrina compreende as ilhas pancreáticas (ilhas de Langerhans) .	Insulina	Reduz a concentração de glicose no sangue. Sua carência provoca aumento na taxa de açúcar no sangue, o que é característico da diabetes melito tipo I. Na diabetes melito tipo II ou do adulto não há falta de insulina, mas o seu aproveitamento é comprometido.
	Glucagon	Aumenta o nível de glicose no sangue.
Glândula pineal (epífise): situada na base do cérebro; mede cerca de 7 mm de comprimento por 4 mm de largura.	Melatonina	Interfere nos sistemas imunológico, hormonal e nervoso.
Timo: órgão linfóide particularmente importante para a defesa imunológica da criança. No adulto é vestigial.	Timosina e timopoiatina	Atuam na maturação dos linfócitos T.
Fígado: glândula anexa do sistema digestório.	Somatomedina	Atua sobre o hormônio de crescimento (GSH), estimulando o crescimento.
Rim: órgão do sistema urinário.	Renina	Estimula o córtex adrenal; aumenta a pressão arterial.
	Diidroxicolecalciferol	Interfere na absorção de cálcio e na calcificação óssea.
Coração: órgão do sistema cardiovascular.	Fator natriurético (ANF)	Atua sobre o rim, aumentando a excreção de sódio e o volume de água na urina.
Estômago: órgão do sistema digestório.	Gastrina	Estimula a secreção do suco gástrico e aumenta a motilidade do estômago.
Duodeno: região do intestino delgado que faz parte do sistema digestório.	Secretina	Estimula a secreção do suco pancreático e inibe a motilidade do estômago.
	Colecistocinina	Estimula a liberação da bile e a secreção de enzimas pancreáticas; inibe a motilidade do estômago.
	Enterogastronas	Inibem a motilidade gástrica.
Testículos: gônadas masculinas.	Testosterona (hormônio sexual masculino)	Na puberdade regula o aparecimento dos caracteres sexuais secundários e estimula a espermatogênese.
Ovários: gônadas femininas. A interação dos hormônios gonadotrópicos com os produzidos pelo ovário determina uma série de alterações no sistema genital feminino, dando origem ao ciclo menstrual .	Estrógeno (hormônio sexual feminino)	Na puberdade é responsável pelo aparecimento dos caracteres sexuais secundários. No ciclo menstrual, estimula o crescimento da parede do útero (endométrio), que se prepara para o eventual recebimento do zigoto.
	Progesterona (hormônio sexual feminino)	Mantém o endométrio desenvolvido. O baixo nível de progesterona elimina o estímulo que mantinha o endométrio desenvolvido, o qual fica na iminência de uma descamação (menstruação).
Placenta	Gonadotropina coriônica (HCG)	Estimula a produção de progesterona, que manterá a gravidez. O HCG começa a ser formado logo no início da formação da placenta.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Cite os sistemas envolvidos na coordenação das funções animais.
2. Conceitue glândula endócrina, hormônio e glândula exócrina.
3. Explique a organização do sistema nervoso.
4. Relacione as partes que compõem o encéfalo.
5. Dê as funções do tálamo e do hipotálamo.
6. Cite as funções do cerebelo e relacione seu desenvolvimento com o grau de atividade do animal.
7. Mencione a principal função da medula oblonga.
8. Classifique os nervos em seus tipos funcionais de acordo com as fibras que os formam.

9. Descreva o trajeto do impulso nervoso:

- nos atos voluntários;
- nos atos reflexos.

10. Cite as funções das partes simpática e parassimpática da divisão autônoma do sistema nervoso.

11. Classifique os receptores sensoriais de acordo com os estímulos aos quais eles respondem.

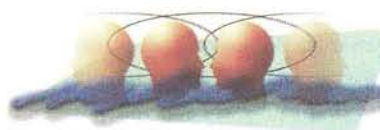
12. Explique como sentimos o gosto e o cheiro dos alimentos.

13. Cite as principais glândulas endócrinas e órgãos produtores de hormônios dos seres humanos.

14. Diga onde são produzidos e qual a função dos seguintes hormônios:

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| a) folículo estimulante (FSH); | d) adrenalina; |
| b) luteinizante (LH); | e) insulina; |
| c) hormônio do crescimento (GSH); | f) glucagon. |

15. Diga quais são os hormônios sexuais na espécie humana e dê suas funções.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Drogas: você sabe como entra, nunca como sai

O aumento do uso de drogas tem se tornado um fato preocupante. A imensa maioria das pessoas entra nesse perigoso caminho sem nenhum conhecimento dos graves problemas que estão por trás de alguns momentos de aparente bem-estar e euforia. Torna-se imperioso abrir essa discussão em sala de aula, buscando esclarecer as pessoas de maneira que elas possam dizer **NÃO ÀS DROGAS** de modo consciente e para sempre:

— “**DROGAS: TÔ FORA, GOSTO MAIS DE MIM**”

O *ecstasy*

Uma das drogas **ilegais** que tem sido muito utilizada é o *ecstasy*, ou simplesmente **E**, também conhecido como “pílula do amor”.

Os riscos para a saúde de quem utiliza o *ecstasy* não são poucos. A substância que define o *ecstasy* é o MDMA, sigla de metilenodioximetanfetamina. Com esse nome, a droga é confundida com as anfetaminas ou metanfetaminas, outros estimulantes sintéticos **ilegais** que deixam as pessoas “ligadas”. Apesar de ser derivado da anfetamina, o composto MDMA tem uma parte da sua molécula semelhante à de um alucinógeno. Essa substância atua sobre três neurotransmissores: a serotonina, a dopamina e a noradrenalina. O mais atingido é a serotonina, que controla as emoções e também regula o domínio sensorial, o domínio motor e a capacidade associativa do cérebro. O MDMA provoca uma descarga de serotonina nas células nervosas do cérebro para produzir os efeitos de bem-estar e leveza.

Como a serotonina também é reguladora da temperatura do corpo, outro risco imediato de quem

ingere *ecstasy* é o da hipertermia, ou superaquecimento do organismo. As mortes associadas a essa droga são decorrentes quase sempre da elevação da temperatura do corpo acima dos 41 °C. A partir dessa temperatura, os riscos são iminentes. O sangue pode coagular, produzindo convulsões e parada cardíaca.

Outras drogas

Detivemo-nos um pouco mais na análise do *ecstasy* por se tratar de uma droga ilegal muito disseminada neste momento. Porém, vamos agora analisar resumidamente outras drogas que atuam sobre os neurônios imitando os neurotransmissores:

- **Cigarro:** a nicotina encaixa-se nos receptores destinados à acetilcolina, atenuando a fome e a fadiga e gerando uma leve sensação de euforia. Ela desempenha também o papel da dopamina, neurotransmissor associado à satisfação, e tem efeito inibidor sobre o apetite. Fumar aumenta a chance de desenvolvimento de câncer de boca, de faringe, de pulmão, além de muitos outros problemas de saúde, como enfarto do miocárdio e enfisema pulmonar.
- **Álcool:** age de modo destrutivo, atacando diretamente o glutamato, um neurotransmissor envolvido em diversas funções, como o raciocínio e o movimento. Quando não destrói as moléculas de glutamato, o álcool provoca danos que dificultam o seu encaixe nos receptores. O álcool pode causar diversos tipos de doenças, como é o caso da cirrose hepática, em que o fígado fica seriamente prejudicado.
- **Maconha (droga ilegal):** a substância ativa da maconha (o tetra-hidrocanabinol ou THC) encaixa-se nos receptores destinados à anandamida, um

neurotransmissor que provoca euforia, alteração da memória e hipersensibilidade. Causa dependência e pode levar à impotência sexual masculina.

- **Cocaína** (droga **ilegal**): provoca o aumento da produção de dopamina e de noradrenalina, substâncias químicas estimulantes. A dopamina cria uma sensação de satisfação e, em doses mais altas, de euforia. Os efeitos da cocaína são muito rápidos e intensos. Causa dependência e pode levar à morte.

Adaptado de: *Superinteressante*, set. 2000, e *Superinteressante* Coleção, vol. 2, 1998; *Veja*, set. 2000.

O quadro abaixo resume alguns dos efeitos e perigos de outras drogas, as duas primeiras **ilegais** e as demais de uso controlado como medicamento, e pode ser um ponto de partida para discussões:

Droga	Efeitos	Perigos
LSD	Superexcitação, distorções sensoriais, alucinações, dilatação das pupilas, aumento da pressão arterial e dos batimentos cardíacos.	Tolerância (a pessoa precisa de doses cada vez maiores para obter o mesmo efeito), dependência física, comportamento irracional, morte por <i>overdose</i> .
<i>Crack</i> (uma forma de cocaína de cinco a dez vezes mais forte que as demais)	Aumento da autoconfiança, sensação de poder e euforia, seguida de depressão profunda.	Provoca depressão, fadiga, perda de memória, insônia, paranóia, perda do apetite sexual, comportamento violento, tendência ao suicídio, morte por <i>overdose</i> .
Barbitúricos	Sedativos, reduzem a ansiedade e induzem ao sono, reduzem a pressão sanguínea e diminuem o ritmo respiratório.	Tolerância, dependência física, morte por <i>overdose</i> , especialmente se combinados com álcool.
Analgésicos narcóticos (por exemplo, morfina)	Euforia, redução da dor, redução de reflexos, contração das pupilas, perda de coordenação.	Tolerância, dependência física, convulsão, morte por <i>overdose</i> .
Anfetaminas	Euforia, excitação, hiperatividade, aumento do ritmo respiratório e da pressão sanguínea, dilatação das pupilas.	Tolerância, dependência física, alucinações, morte por <i>overdose</i> .

- Analise a seguinte situação, muito comum hoje em dia envolvendo jovens de sua idade: Um jovem é abordado por uma pessoa, que depois de um pouco de conversa diz que ele tem a “cabeça-feita” e é independente. Como tal, deveria experimentar sensações novas. Então, lhe oferece um pó branco para cheirar ou um cigarro para fumar. Se isso ocorresse com você e, estando informado de que esse pó branco é cocaína e de que o cigarro é maconha, que tipo de reação você teria? E se o cigarro não fosse de maconha, mas um cigarro comum, como você reagiria?
- O uso de bebidas alcoólicas por jovens e mesmo por adultos deve ser evitado. Discuta os problemas orgânicos que ocorrem em uma pessoa alcoolizada e os problemas sociais que essa pessoa enfrenta em estado de alcoolismo. Dê sua opinião sobre o consumo de bebidas alcoólicas.
- Certas condutas que os jovens adotam estão muitas vezes ligadas à aceitação em grupos que valorizam comportamentos caracterizados como provas de autoconfiança. Buscando essa aceitação, o jovem se vê muitas vezes levado a adotar condutas que normalmente não adotaria sem esse tipo de cobrança. Nesses momentos é que acontecem pressões para fumar e usar drogas, ou mesmo “liberar” a atividade sexual. Você concorda que isso ocorre entre os jovens e que assim é possível entrar por um caminho que mais tarde leva ao arrependimento?



TESTES

1. (Fuvest-SP) Qual dos seguintes comportamentos envolve maior número de órgãos do sistema nervoso?

- a) Salivar ao sentir o aroma de comida gostosa.
- b) Levantar a perna quando o médico toca com martelo no joelho do paciente.
- c) Piscar com a aproximação brusca de um objeto.
- d) Retirar bruscamente a mão ao tocar um objeto muito quente.
- e) Preencher uma ficha de identificação.

2. (UFPI) Um tumor na cabeça que causa distúrbio no equilíbrio postural de um indivíduo provavelmente está localizado no:

- a) bulbo raquidiano.
- b) hipotálamo.
- c) cerebelo.
- d) lobo olfativo.
- e) lobo óptico.

3. (UFCE) No homem, os canais semicirculares, órgãos responsáveis pela manutenção do equilíbrio, estão localizados:

- a) no ouvido interno.
- b) no cerebelo.
- c) na medula.
- d) nas articulações.

4. (PUC-RS) Quando “prendemos a respiração”, chega um determinado momento em que não conseguimos mais sustentar a situação. Isso ocorre porque o aumento exagerado de gás carbônico no sangue determinará uma ação imediata do centro respiratório, que fica localizado:

- a) no cérebro.
- b) na ponte.
- c) no bulbo.
- d) nos ventrículos.
- e) na medula.

5. (UFMS) O tecido glandular, cujas células são altamente especializadas na secreção de determinadas substâncias, é uma variedade do tecido epitelial.

Com relação ao tecido glandular e seus produtos de secreção, é **correto** afirmar (mais de uma alternativa pode estar correta):

- 01) Os testículos, produtores de testosterona, e os ovários, que produzem progesterona, são classificados como glândulas endócrinas, pois lançam essas substâncias diretamente na corrente sanguínea.
- 02) A saliva é um tipo de secreção glandular.
- 04) As glândulas sudoríparas são classificadas como

exócrinas, pois lançam seu produto para o exterior do organismo.

08) As secreções de todas as glândulas são denominadas hormônios.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (FAAP-SP) Ao levarmos um susto, uma substância produzida nas supra-renais é liberada na corrente circulatória, provocando aumento de batimentos cardíacos, elevação da pressão sanguínea, dentre outros efeitos. Essa substância é:

- a) adrenalina.
- b) acetilcolina.
- c) insulina.
- d) progesterona.
- e) testosterona.

7. (ESPM-SP) A alternativa que apresenta a associação correta entre os hormônios e respectivos órgãos de origem é:

- | | |
|----------------------------|----------------|
| A. insulina | 1. supra-renal |
| B. testosterona | 2. hipófise |
| C. somatotrofina | 3. pâncreas |
| D. tiroxina | 4. ovário |
| E. progesterona | 5. tireóide |
| F. glucagon | 6. testículos |
| G. gonadotrofina coriônica | |
| H. adrenalina | |
| I. aldosterona | |

- a) 1D — 2I — 3A — 4G — 5H — 6B.
- b) 1I — 2C — 3A — 4E — 5D — 6B.
- c) 1H — 2E — 3F — 4B — 5A — 6I.
- d) 1I — 2C — 3F — 4B — 5F — 6E.
- e) 1G — 2C — 3A — 4B — 5D — 6D.

8. (PUC-RS) A produção do hormônio luteinizante (LH) estimula as células intersticiais ou de Leydig a liberarem um hormônio que, por sua vez, é responsável pela manutenção dos caracteres sexuais. Indique a opção que corresponde ao descrito no texto:

- a) A hipófise produz o hormônio luteinizante (LH) e estimula o testículo a produzir testosterona.
- b) O testículo produz hormônio luteinizante (LH) e estimula a hipófise a produzir o estrógeno.
- c) O hormônio luteinizante (LH) estimula o testículo a produzir o estrógeno, estimulando a hipófise.
- d) O hormônio luteinizante (LH) estimula o ovário a produzir a progesterona, estimulando a hipófise.
- e) O hipotálamo produz o hormônio luteinizante (LH), estimulando a hipófise a produzir testosterona.

9. (UFCE) Botox é um produto comercial que consiste da toxina botulínica que age bloqueando a função nervosa. É utilizado no tratamento de pessoas que sofrem de contrações anormais dos músculos, como também no tratamento cosmológico dos sinais de envelhecimento facial. Essa neurotoxina atua como relaxante muscular e, assim, age:

- 1 — bloqueando a liberação de acetilcolina nas terminações nervosas dos músculos.
- 2 — impedindo que o músculo receba a mensagem do cérebro para se contrair.
- 3 — inibindo a enzima acetilcolinesterase, que destrói a acetilcolina.

Indique a alternativa correta:

- a) somente 1 é verdadeira.
- b) somente 2 é verdadeira.
- c) somente 1 e 2 são verdadeiras.
- d) somente 3 é verdadeira.
- e) 1, 2 e 3 são verdadeiras.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFOP-MG) O sistema nervoso autônomo (SNA) é constituído de duas partes que, em geral, se antagonizam em suas ações. Responda:

- a) Quais são essas duas partes do SNA?
- b) Dê dois exemplos que ilustrem esse antagonismo.

2. (UFAL) Se uma pessoa está sentada com as pernas cruzadas e, distraída, recebe uma batida no joelho, movimenta a perna rapidamente e também sente a batida. Descreva a sequência de eventos que ocorrem nesse caso.

3. (Fuvest-SP) Uma jovem que sempre foi saudável chegou a um hospital em estado de coma. O histórico da paciente revelou que ela recebera erroneamente injeção de uma dose excessiva de insulina.

- a) Por que a injeção de insulina induziu o coma na jovem?
- b) A insulina é normalmente administrada a pacientes com disfunção de que órgão? Qual é a doença causada pela deficiência de insulina?

4. (Fuvest-SP) Os seguintes eventos ocorrem em células das ilhotas de Langerhans do pâncreas:

- I — Secreção de hormônio no sangue.
- II — Produção de proteína pelos ribossomos.
- III — Transporte de proteína ao aparelho de Golgi.

- a) Em que ordem esses eventos ocorrem?
- b) Que hormônios são produzidos nessas células?

5. (UFRN) Em menos de uma hora, Magali tomou um litro de sorvete de chocolate. Sua mãe repreendeu-a e a proibiu de tomar sorvete por um mês. Revoltada, Magali resolveu fazer greve de fome e passou todo o dia seguinte sem se alimentar. Explique como os hormônios do pâncreas atuaram para manter a concentração de glicose sanguínea em níveis constantes quando Magali:

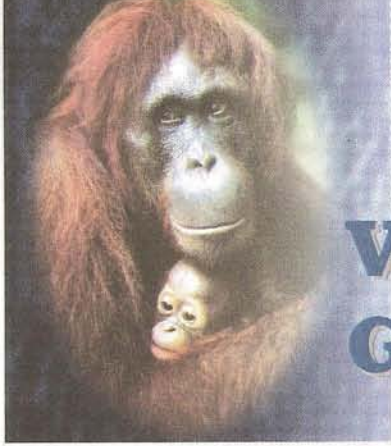
- consumiu o sorvete;
- fez greve de fome.

UNIDADE 5

Keystock



Genética



Visão histórica da Genética

1. Introdução

Nesta unidade abordaremos a **Genética**, área da Biologia que estuda a natureza química do material hereditário, o modo de ação desse material e os mecanismos de sua transmissão ao longo das gerações.

A maior contribuição para a Genética atual foi dada pelo monge Gregor **Mendel** (1822-1884), que realizou experimentações com ervilhas cultivadas em seu jardim, no mosteiro de Brünn, na Áustria (atualmente Brno, na República Tcheca).



Gregor Mendel.

O trabalho de Mendel, apresentado à comunidade científica em 1865, passou despercebido até que em 1900 três cientistas, de modo independente, reconheceram e confirmaram as idéias de Mendel. Esses pesquisadores foram o holandês Hugo de Vries

(1848-1935), o alemão Carl **Correns** (1864-1933) e o austríaco Erich von **Tschermack** (1871-1962).

Mendel postulou que a transmissão dos caracteres hereditários era feita por meio de partículas ou fatores que se encontravam nos gametas. Ele chegou às suas conclusões antes mesmo de saber o que são cromossomos e de se conhecerem os processos de divisão celular por mitose e meiose.

Atualmente, os fatores mendelianos são denominados **genes**. Nos próximos capítulos estudaremos as leis de Mendel com detalhes.

No período entre a publicação do trabalho de Mendel e seu redescobrimto em 1900, muitos avanços aconteceram no campo da Citologia. Os cromossomos e outras estruturas celulares foram observados ao microscópio, e os processos de divisão celular, por mitose e por meiose, foram descritos.

Por volta de 1902, alguns cientistas, especialmente Walter **Sutton** (1877-1916), verificaram que o comportamento dos cromossomos nas divisões celulares era comparável ao dos fatores mendelianos.

Em 1910, realizando experimentações com a mosca *Drosophila melanogaster*, Thomas Hunt **Morgan** (1866-1945) e seus colaboradores reforçaram essas idéias e formularam a **teoria cromossômica da herança**, segundo a qual os genes estão localizados nos cromossomos. Por seus trabalhos nessa área, Morgan recebeu em 1933 o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina.

A partir dessas interpretações consideradas corretas sobre a participação dos genes e dos cromossomos nos mecanismos da herança, a Genética teve um grande desenvolvimento e hoje é uma área em plena expansão.

2. Cromossomos e genes

No item anterior vimos que as partículas mendelianas, atualmente chamadas genes, contêm as informações genéticas dos indivíduos e são transmitidas de pais para filhos. Vimos também que os genes não se encontram soltos dentro das células, mas localizados nos cromossomos. Segundo Morgan e seus colaborado-

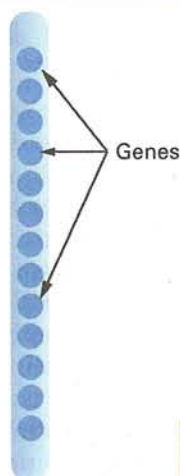
res, os genes dispõem-se linearmente nos cromossomos, como representado esquematicamente na figura ao lado.

Embora hoje se saiba muito mais a respeito da disposição dos genes nos cromossomos, em essência as idéias de Morgan estão corretas.

Acompanhando a evolução histórica do conhecimento sobre a hereditariedade, vamos ver como prosseguiram as descobertas do material hereditário.

A partir do momento em que se estabeleceu que os cromossomos possuem genes, surgiram duas perguntas: qual a natureza química dos cromossomos e o que são exatamente os genes?

Vamos comentar resumidamente essas questões.



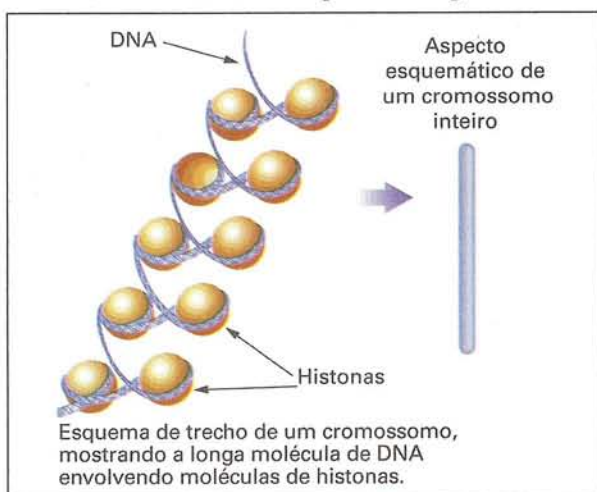
Esquema de cromossomo (cores-fantasia).

3. A natureza química do material genético

A natureza química do material genético começou a ser descoberta a partir de 1869, quando o jovem cientista Friedrich **Miescher** (1844-1895) isolou, a partir do núcleo de células, moléculas grandes que denominou **nucleínas**. Desde então, outros cientistas verificaram que as nucleínas tinham natureza ácida e passaram a chamá-las **ácidos nucleicos**.

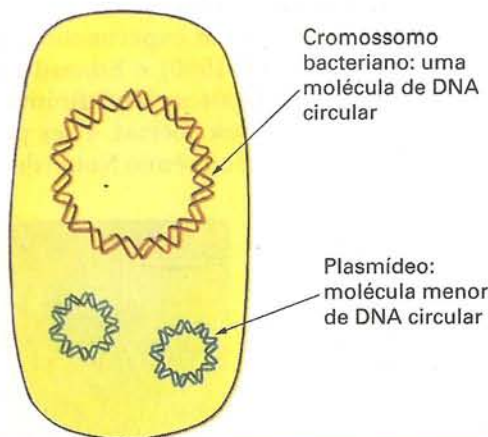
No início do século XX foram identificados dois tipos de ácido nucleico: o **ácido desoxirribonucleico (DNA)** e o **ácido ribonucleico (RNA)**. Em 1944 o DNA foi reconhecido por Oswald Avery (1877-1955), Colin Munro **MacLeod** (1909-1972) e Maclyn **McCarty** (1911) como sendo o material genético.

Atualmente, sabe-se que nas células eucarióticas podem existir vários cromossomos e que cada um deles é formado por uma longa molécula de DNA associada a moléculas de proteínas denominadas **histonas**, como mostra o esquema a seguir:



Esquemas de cromossomo de eucarionte (cores-fantasia).

Nos procariontes, como bactérias e cianobactérias, há um único cromossomo por célula, formado apenas por uma molécula circular de DNA. Além desse DNA principal, que contém os genes responsáveis pelo metabolismo dos procariontes, em algumas bactérias podem existir outras moléculas menores de DNA, todas circulares, denominadas **plasmídeos**. Em geral os plasmídeos contêm genes que conferem às bactérias resistência a antibióticos.



Esquema baseado em observações ao microscópio eletrônico de uma bactéria, em que se destacam o cromossomo circular e dois plasmídeos (cores-fantasia).

Enquanto nos organismos com estrutura celular o material genético é o DNA, nos vírus o material genético pode ser o RNA ou o DNA.

MATERIAL GENÉTICO DOS SERES VIVOS

- Procariontes e eucariontes: DNA.
- Vírus: DNA ou RNA.

4. O que são e como atuam os genes

A pergunta sobre o que é o gene e como ele comanda a manifestação das características dos seres vivos começou a ser respondida em 1908, com os trabalhos do médico inglês Archibald Garrot sobre uma doença humana rara chamada **alcaptonúria**. As pessoas afetadas por essa doença não conseguem decompor a substância **alcaptona**, que fica acumulada nas cartilagens e no colágeno do tecido conjuntivo. Essa substância provoca pigmentação preta no céu da boca e nos olhos, além de artrite degenerativa na coluna vertebral e nas grandes articulações do corpo.

A alcaptonúria também recebe o nome de **anomalia da urina preta**, pois o excesso de alcaptona é eliminado pela urina e, ao entrar em contato com o ar, reage com o oxigênio adquirindo a cor preta.

Garrot interpretou essa anomalia como decorrente da falta de uma enzima para decompor a alcaptona em substâncias incoloras. A ausência dessa enzima seria causada por “erros” na informação genética, os quais o médico denominou **erros inatos do metabolismo**.

O trabalho pioneiro de Garrot sugere que existe relação entre o material genético, o gene e a síntese de uma enzima e que, havendo um erro na informação desse gene, a enzima correta não se forma, provocando os erros inatos do metabolismo. Entretanto, Garrot não forneceu provas experimentais suficientes para comprovar essa hipótese.

Apenas em 1941, com as experimentações de George Wells Beadle (1903-1989) e Edward Lawrie Tatum (1909-1975), essa hipótese foi definitivamente comprovada. Por suas descobertas, esses pesquisadores receberam em 1958 o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina.



Bettmann/Corbis

George Wells Beadle.



Bettmann/Corbis

Edward Lawrie Tatum.

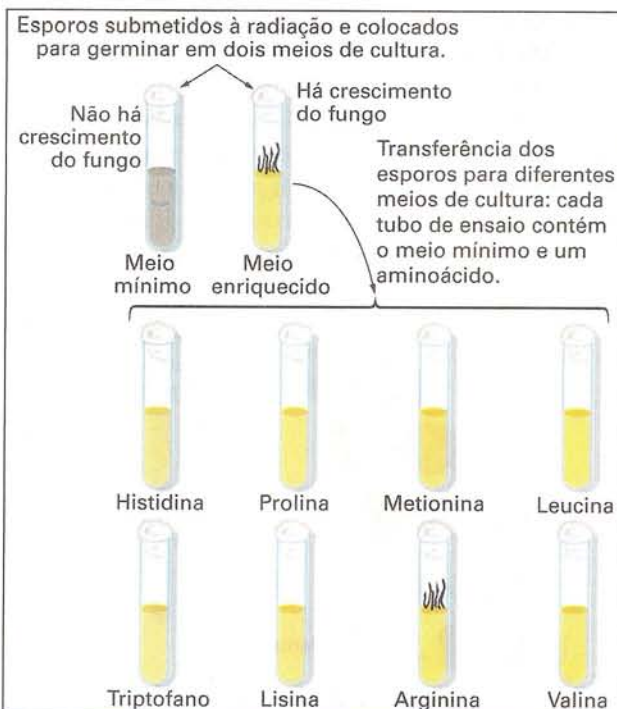
Tomando o trabalho de Garrot como uma das principais referências, Beadle e Tatum formularam a hipótese de que, se existe relação entre um gene e uma enzima específica, é possível criar mutantes (que apresentam alterações nos genes) incapazes de realizar certas reações que envolvam a participação dessas enzimas.

Para testar essa hipótese, Beadle e Tatum escolheram como material biológico o bolor róseo do pão,

Neurospora crassa, por ser de fácil manutenção em laboratório, crescendo até mesmo em meio mínimo contendo apenas sais minerais, água, açúcar e uma vitamina chamada biotina. Os pesquisadores expuseram os esporos desse fungo aos raios X, com o intuito de provocar mutações. Depois colocaram os esporos para germinar em meio mínimo e em meio enriquecido contendo todas as substâncias necessárias para o desenvolvimento do fungo. Verificaram que o fungo não mais se desenvolvia no meio mínimo e que crescia apenas no meio enriquecido. Isso sugeria que os esporos expostos aos raios X tinham perdido a capacidade de produzir uma ou algumas das substâncias necessárias ao seu desenvolvimento, que, portanto, não mais ocorria no meio mínimo.

Restava saber agora qual substância tinha deixado de ser produzida. Para isso, Beadle e Tatum transferiram amostras de bolor mutante para vários tubos de ensaio, cada um contendo o meio mínimo e substâncias importantes para o crescimento do fungo, como vitaminas, aminoácidos e bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos.

Vamos comentar a experimentação em que usaram meios enriquecidos com aminoácidos. Cada tubo de ensaio continha o meio mínimo mais um determinado aminoácido. Assim, cada meio de cultura era diferente dos demais. Veja uma dessas experimentações na figura a seguir:



Esquema de uma das experimentações que Beadle e Tatum montaram para mutantes de *Neurospora*, visando testar a hipótese um gene-uma enzima (cores-fantasia).

Nessa experimentação só ocorreu crescimento de *Neurospora* no meio mínimo em que foi adicionado o aminoácido arginina. Isso significa que esse organismo mutante não conseguia sintetizar arginina, sendo necessário adicioná-la para o fungo crescer. Nos demais tubos de ensaio em que não houve crescimento do fungo os aminoácidos adicionados não eram aqueles de que o fungo precisava, pois, se fossem, o fungo teria se desenvolvido. Assim, a mutação nesse caso afetou a síntese de um só aminoácido, não interferindo na síntese dos demais.

Na síntese da arginina há participação de enzima. A mutação deve ter alterado o gene responsável pela síntese dessa enzima e, assim, não havia mais a possibilidade de o metabolismo do fungo produzir esse aminoácido.

Beadle e Tatum realizaram várias experimentações semelhantes a essa e chegaram à conclusão de que cada gene é responsável pela síntese de uma enzima. A alteração no gene provoca alteração na enzima que se forma.

Um gene → Uma enzima

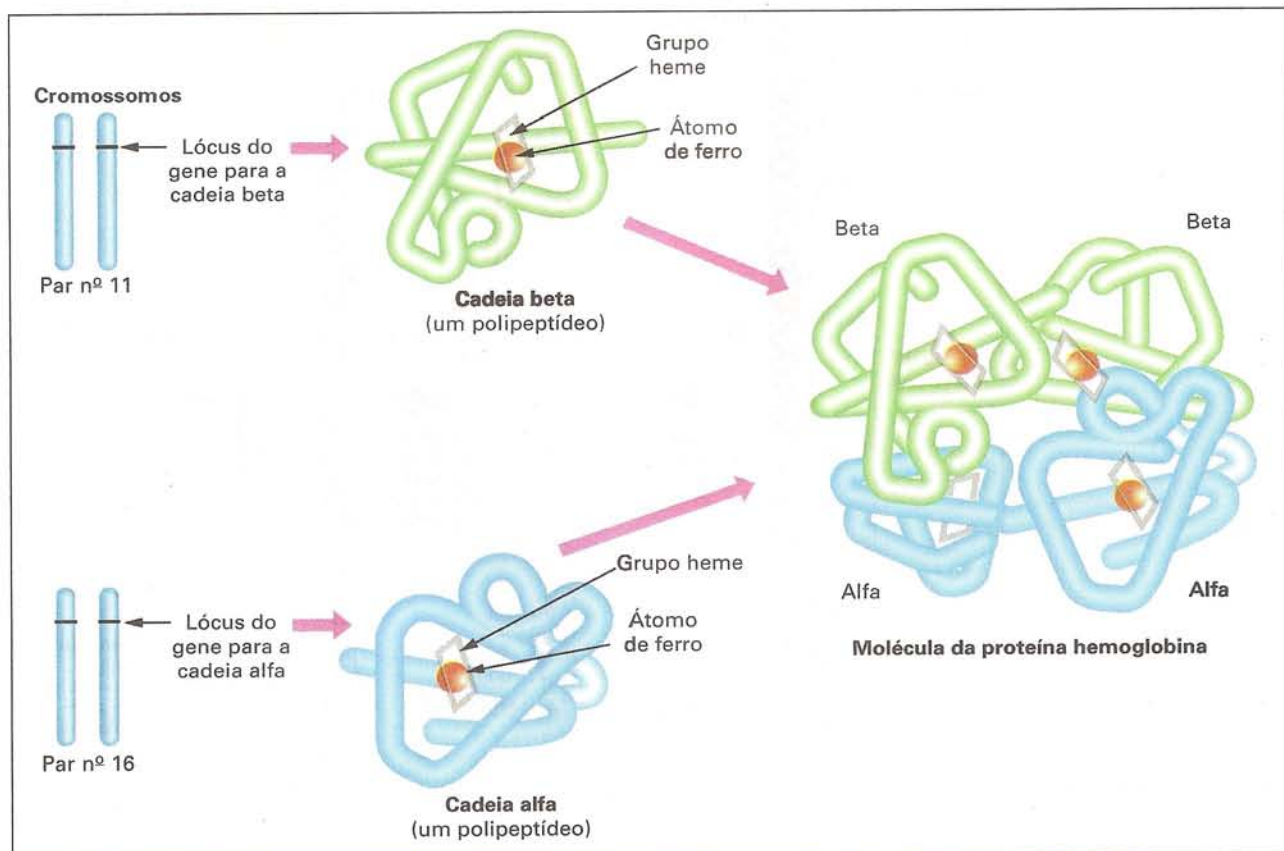
Outros estudos realizados por diversos pesquisadores ampliaram essa relação, mostrando que todas

as enzimas são proteínas, mas que nem toda proteína é uma enzima.

Existem vários tipos de proteína: proteínas estruturais, como o colágeno presente nos tecidos conjuntivos dos animais; proteínas como a hemoglobina, presente no sangue de alguns animais e responsável pelo transporte de gases respiratórios; e proteínas que atuam como hormônios. Todas essas proteínas também podem sofrer alterações causadas por mutações nos genes. Assim, a teoria **um gene-uma enzima** foi posteriormente ampliada para **um gene-uma proteína**.

Um gene → Uma proteína

As proteínas são moléculas grandes, também denominadas **polipeptídeos** (*poli* = muitos). Embora a maior parte das proteínas seja composta de apenas uma cadeia de polipeptídeos, verificou-se que certas proteínas são formadas, na realidade, por mais de uma cadeia. Um exemplo é a **hemoglobina**, proteína formada por quatro cadeias polipeptídicas unidas. Duas dessas cadeias são chamadas beta e as outras duas, alfa. Na espécie humana, a cadeia beta é produzida por um gene localizado no par de cromossomos número 11, enquanto a cadeia alfa é produzida por outro gene, localizado em outro par de cromossomos homólogos: o par 16.



Esquema da formação da molécula de hemoglobina. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Assim, a teoria **um gene—uma proteína** foi alterada para:

Um gene → Um polipeptídeo

Portanto, a atuação do gene está relacionada com a síntese de uma proteína ou de um polipeptídeo. Mas como isso acontece? Será que o gene sintetiza diretamente a proteína?

Para responder a essa pergunta um longo caminho foi percorrido, passando pela descoberta da estrutura da molécula de DNA e da definição de um código genético, assuntos já comentados no capítulo 7 deste livro.

Atualmente sabe-se que o gene não comanda diretamente a síntese de polipeptídeos no interior do núcleo, mas é transcrito em moléculas de outro ácido nucléico: o **RNA**.

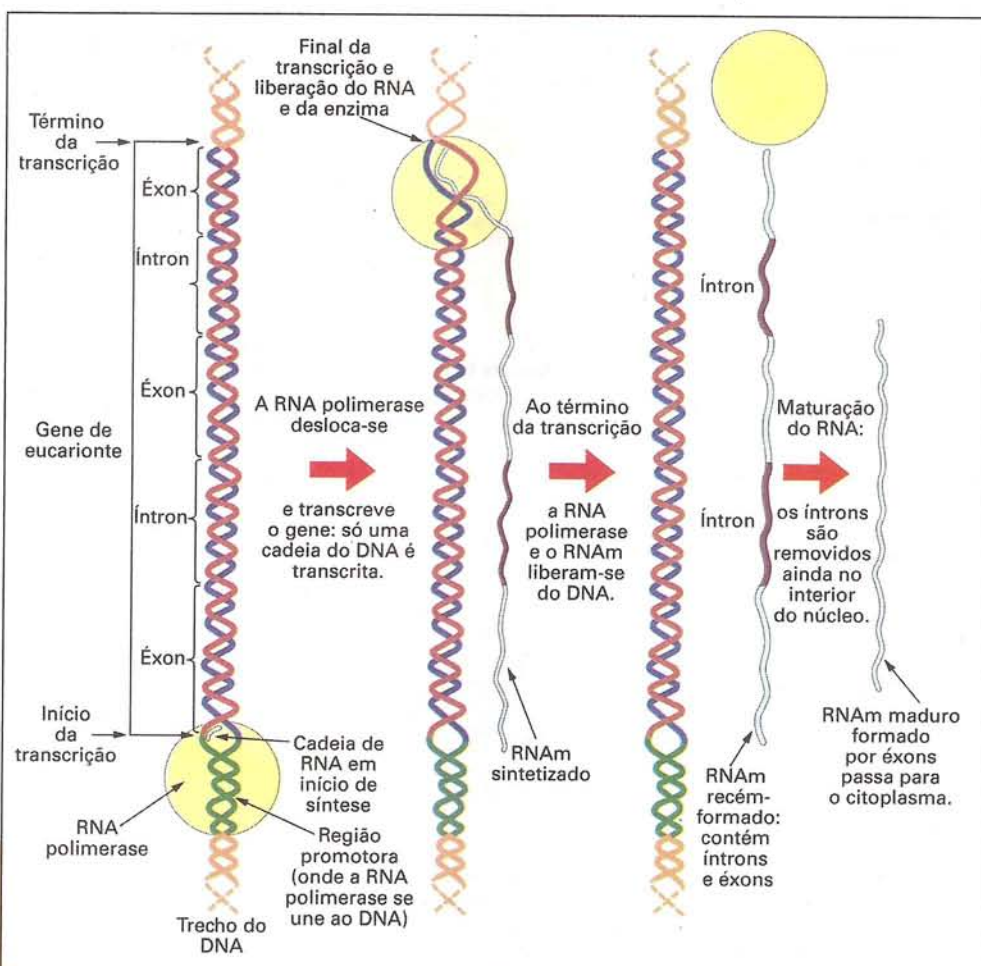
Assim, **um gene** pode ser definido como a **região do DNA que pode ser transcrita em moléculas de RNA**.

Gene: região do DNA que pode ser transcrita em moléculas de RNA.

O gene a ser transcrito tem um início e um final definidos por certas seqüências de bases nitrogenadas do DNA.

A seqüência que marca o início do gene recebe o nome de **região promotora**, e a que marca o final é chamada **seqüência de término da transcrição**. Desse processo de transcrição participa a enzima **polimerase do RNA** (ou **RNA polimerase**), que se une ao DNA na região promotora do gene. Essa enzima abre a molécula de DNA e desloca-se sobre ela orientando o emparelhamento dos nucleotídeos do RNA de forma complementar aos nucleotídeos do DNA. Quando a polimerase do RNA chega até a seqüência de término da transcrição, ela se solta do DNA finalizando a transcrição e liberando o RNA. Apenas uma das cadeias do DNA é transcrita.

Nos eucariontes, cada gene é formado por regiões que codificam aminoácidos, chamadas **éxons** (expressão derivada do inglês *expressed regions*), e regiões que não codificam aminoácidos, chamadas **íntrons** (expressão derivada do inglês *intragenic regions*). Após a transcrição do gene em moléculas de RNA, ocorre a maturação do RNA com a remoção dos íntrons, ficando o RNA formado apenas por éxons. Esse RNA maduro passa para o citoplasma, onde comandará a síntese de proteínas.



Esquema de um gene e de sua transcrição nos eucariontes. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Os aminoácidos são codificados por **trincas** de bases nitrogenadas que formam uma linguagem em código, o **código genético**, como já comentado no capítulo 7: um mesmo aminoácido pode ser codificado por mais de uma trinca, originando trincas sinônimas, razão pela qual dizemos que o código genético é degenerado. Existem trincas que não codificam aminoácidos mas determinam o início ou o fim do polipeptídeo.

Durante a duplicação de uma molécula de DNA pode ocorrer substituição incorreta de uma

base nitrogenada. Nesse caso, o códon produzido será outro, o que pode provocar alteração na proteína em virtude da substituição do aminoácido.

A alteração de uma base, no entanto, nem sempre provoca a substituição do aminoácido, pois um aminoácido pode ser identificado por um ou mais códons. Essas modificações acidentais do material genético são chamadas **mutações gênicas** e podem provocar alterações nas características do organismo.

Estado atual do conhecimento sobre a organização do DNA dos cromossomos

O conhecimento da organização do DNA dos cromossomos aumentou muito atualmente.

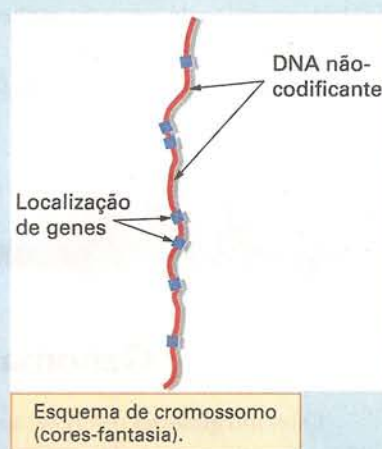
Hoje se sabe que cada cromossomo dos eucariontes é formado por vários genes, separados entre si por extensas regiões do DNA que não são transcritas em moléculas de RNA. Essas seqüências não-codificantes do DNA não ocorrem nos procariontes, em que praticamente todo o DNA é composto apenas de genes. Já nos eucariontes, a porção não-codificante dos cromossomos chega a corresponder a 97% de todo o DNA. Assim, apenas uma pequena parte do DNA dos cromossomos dos eucariontes é formada por genes.

O DNA não-codificante tem sido chamado **DNA-lixo**, pois aparentemente não tem função.

Embora ainda não se saiba exatamente a função de alguns trechos desse DNA, recentemente descobriu-se que o DNA não-codificante:

- participa da estruturação dos cromossomos;
- pode apresentar alguns trechos correspondentes a genes que, ao longo da evolução de uma espécie, deixaram de ter função; assim, desempenharam papel importante na evolução;
- forma o **centrômero**, estrutura fundamental na correta distribuição dos cromossomos na divisão celular.

Como é possível notar, o DNA-lixo parece não ser tão dispensável como se pensava.



5. Biotecnologia

A Genética é hoje uma das áreas da Biologia que se tem desenvolvido bastante, trazendo muitas informações novas a respeito dos genes e dos mecanismos de herança. Essa área tem sido a base para o incremento de outra antiga área da Biologia: a **Biotecnologia**, que corresponde à utilização de seres vivos com o intuito de se obterem produtos de interesse para o ser humano.

Há séculos a humanidade pratica a Biotecnologia. O uso de fermento para fazer crescer o pão é um exemplo. Entretanto, são os recentes avanços na **Biologia molecular** e em técnicas genéticas que têm trazido novos caminhos para essa área.

Atualmente, a Biotecnologia engloba técnicas de manipulação genética das células, área conhecida como **Engenharia genética**.

A Engenharia genética não deve ser confundida com técnicas de reprodução seletiva há muitos anos utilizadas pelo ser humano visando obter indivíduos mais produtivos (vacas que produzem mais leite, milho de melhor qualidade, dentre outros exemplos). Esse processo de reprodução seletiva promove o melhoramento genético de espécies comercialmente importantes para a humanidade. Porém, é um processo lento, que em geral envolve várias gerações e favorece o progresso apenas de um caráter ou de poucos caracteres por vez.

Já a Engenharia genética permite alterar a composição genética dos indivíduos num espaço de tempo menor do que o da reprodução seletiva, além de possibilitar que vários genes sejam manipulados ao mesmo tempo. Além disso, podem-se introduzir

em uma espécie de interesse genes de outras espécies, originando os indivíduos geneticamente modificados, também conhecidos por **transgênicos**.

A Genética atual abrange também temas como **Projeto Genoma Humano**, **terapia gênica**, **clonagem**, **aconselhamento genético** e **diagnóstico pré-natal**, dentre outros. Esses assuntos têm causado grande polêmica em todas as áreas da sociedade, envolven-

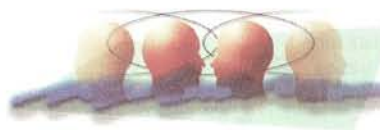
do questões religiosas, políticas, legais e éticas. Eles serão abordados neste livro levantando algumas das questões mais polêmicas sobre o uso das informações genéticas, principalmente dos seres humanos.

Essas discussões, sempre saudáveis, podem esclarecer e trazer à tona problemas importantes da atualidade que ultrapassam em muito os limites da sala de aula.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Especifique os objetivos de estudo da Genética.
2. Dê três exemplos de como os conhecimentos de Genética afetam a sociedade moderna.
3. Explique a teoria cromossômica da herança.
4. Explique o que é um gene.
5. Relacione gene com cromossomos e síntese proteica.
6. Diga o que é o código genético e explique por que se diz que ele é degenerado.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Genoma — o que é e o que tem sido feito

O termo **genoma** refere-se ao conjunto de todo o DNA que determinado organismo tem em suas células.

Há vários projetos em andamento ou já concluídos que visam desvendar o genoma de diferentes espécies de seres vivos. Como exemplo podemos citar: o projeto genoma da bactéria *Haemophilus influenzae*, concluído em 1995; o do bacilo da tuberculose, *Tyobacterium tuberculosis*, concluído em 1998; e o da mosca *Drosophila melanogaster*, concluído em 2000.

Destaque especial deve ser dado ao grupo de pesquisadores brasileiros que em 2000 completaram o seqüenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, causadora da clorose variegada dos citros (CVC), o popular amarelinho, que afeta principalmente laranjeiras.

Dentre os projetos que visam conhecer o genoma dos seres vivos, o mais polêmico é sem dúvida o **Projeto Genoma Humano**.

Esse projeto foi oficialmente iniciado em 1990 e, na época, apenas 4 550 genes humanos haviam sido identificados, dos quais cerca de 1 500 haviam sido associados a localizações específicas nos 46 cromossomos.

Em fevereiro de 2001, os resultados desse projeto foram publicados. Segundo os cálculos dos pesquisadores, o número de genes existentes nos 46 cromossomos humanos não chega a 40 mil. Esse número é muito inferior ao esperado, que era de cerca de 100 mil genes.

Embora muito já se saiba sobre o genoma humano, o trabalho ainda não terminou. Falta identificar a maioria dos genes contidos nesse material seqüenciado e conhecer as funções de cada gene e a estrutura de cada proteína que codificam.

Paralelamente ao conhecimento dos genes da espécie humana, o Projeto Genoma Humano abre a discussão sobre incertezas éticas, legais e sociais relacionadas ao conhecimento dos genes de cada indivíduo. Três itens se destacam:

- privacidade da informação genética;
- segurança e eficácia da medicina genética;
- justiça no uso da informação genética.

Subjacentes a esses itens há cinco princípios básicos: autonomia, privacidade, justiça, igualdade e qualidade.

O **princípio da autonomia** estabelece que os testes deverão ser estritamente voluntários, após

aconselhamento apropriado, e que a informação resultante deles é absolutamente pessoal.

O **princípio da privacidade** determina que os resultados dos testes genéticos de um indivíduo não poderão ser comunicados a ninguém sem seu consentimento expresso, exceto talvez a familiares com elevado risco genético; mesmo assim, após falharem todos os esforços para obter permissão da pessoa.

O **princípio da justiça** garante proteção aos direitos de populações vulneráveis, como crianças, pessoas com retardo mental ou problemas psiquiátricos e culturais especiais.

O **princípio da igualdade** rege o acesso igual aos testes, independentemente de origem geográfica, raça, etnia e classe socioeconômica.

Finalmente, o **princípio da qualidade** assegura que todos os testes oferecidos terão especificidade e sensibilidade adequadas e serão realizados em laboratórios capacitados, com adequada monitoração profissional e ética.

Uma questão importante é que não há maneiras legais de implementar esses princípios éticos e garantir que sejam cumpridos, e provavelmente haverá pressões enormes, principalmente de interesses econômicos, para a implementação de testes genéticos sem adesão a eles.

Em última análise, toda essa problemática relacionada aos princípios básicos vai convergir na interação social de três elementos: a comunidade científica do Projeto Genoma Humano, geradora do novo conhecimento; a comunidade empresarial, que vai transformar esse conhecimento em produtos e oferecê-los à população; e a sociedade como um todo, que vai absorver e incorporar o novo conhecimento em sua visão do mundo e suas práticas sociais, além de consumir os novos produtos.

Adaptado do site www.ufrgs.br e de artigo publicado na *Revista USP*, nº 24, 1995.

- Faça uma pesquisa sobre o andamento do Projeto Genoma Humano e sobre as discussões éticas envolvidas com o conhecimento dos genes humanos. Pondere sobre prós e contras do que pode acontecer num futuro próximo, considerando o conhecimento cada vez maior que o ser humano vem adquirindo e os riscos que se corre ao “brincar de Deus” com as informações obtidas. Cite cinco questões éticas relacionadas com a Genética na atualidade.
- Caso seja possível, procure assistir, analisar e discutir os seguintes filmes:
 - *Admirável mundo novo*, adaptado do livro de Aldous Huxley, escrito em 1932. No livro o autor descreve o que imaginava ser a sociedade em que viveria no futuro. É importante pensar neste filme em termos históricos, sabendo que ele foi escrito em uma época em que pouco se sabia sobre Genética, clonagem e outros conhecimentos que só foram adquiridos posteriormente;
 - *GATTACA*, escrito por Andrew Niccol e lançado em 1997. O nome do filme vem das bases nitrogenadas do DNA. Esse filme relata o drama de uma sociedade do século XXI dominada pela Engenharia genética, que tornou possível a criação de seres humanos “superiores” que atingiam posições de poder e prestígio. Essas pessoas contrastam com os humanos “inferiores” nascidos à moda antiga.



TESTES

1. (FEI-SP) As leis básicas da Genética foram formuladas por:

- a) Robert Hooke.
- b) Jean-Baptiste de Lamarck.
- c) Johann Gregor Mendel.
- d) Louis Pasteur.
- e) Charles R. Darwin.

2. (PUC-SP) “O século XX proporcionou uma série de pesquisas na área genética.

Em 1928, Griffith realizou um importante experimento que envolvia transformações em bactérias. Esse experimento, retomado por Avery e colaboradores, em 1944, foi a base para a descoberta da molécula formadora do material genético.

Nos anos 1950, Watson e Crick apresentaram o modelo da dupla-hélice dessa molécula, abrindo caminho para que, na década seguinte, se demonstrasse como o gene, através de sua seqüência de bases nitrogenadas, controla a produção de proteínas.

Nas duas últimas décadas, o avanço biotecnológico permitiu aos cientistas a manipulação do material genético e a transferência de um gene de uma espécie para outra."

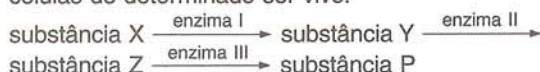
Considere os itens abaixo:

- I — estrutura da molécula do DNA;
- II — descoberta do código genético;
- III — DNA como molécula constituinte do gene;
- IV — obtenção de organismos transgênicos.

O texto faz referência:

- a) apenas aos itens I, II e III.
- b) apenas aos itens I, II e IV.
- c) apenas aos itens I, III e IV.
- d) apenas aos itens II, III e IV.
- e) a todos os itens considerados.

3. (UFSE) A seguinte seqüência de reações ocorre nas células de determinado ser vivo:



Uma célula com mutação no gene responsável pela síntese da enzima II produzirá uma enzima inativa e apresentará acúmulo **somente** de:

- a) X.
- b) Y.
- c) Z.
- d) X e Y.
- e) Y e Z.

4. (UFSCar-SP) Diz-se que o código genético é "degenerado" porque:

- a) existe mais de um aminoácido para cada códon.
- b) se desorganiza na velhice.
- c) mais de um códon pode codificar um mesmo aminoácido.
- d) existem códons que não codificam qualquer aminoácido.
- e) o código é diferente no DNA e no RNA.

5. (PUC-RJ) Um cientista analisou quimicamente três amostras de moléculas inteiras de ácidos nucleicos, encontrando os seguintes resultados:

Amostra 1: revelou presença de ribose.

Amostra 2: revelou presença de dupla-hélice.

Amostra 3: revelou presença de 30% de citosina e 20% de guanina.

Esses resultados mostram que as moléculas analisadas foram, respectivamente:

- a) ADN, ARN e ARN.
- b) ADN, ADN e ARN.
- c) ARN, ADN e ARN.
- d) ARN, ARN e ADN e ARN.
- e) ARN, ADN e ADN ou ARN.

6. (PUC-MG) O aminoácido histidina tem o código genético GTA no DNA. Sua transcrição no RNAm será:

- a) GAA.
- b) CAU.
- c) CAT.
- d) ACA.
- e) CUT.

7. (UFMG) Observe a seqüência de bases nitrogenadas:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
TAC TCA GAC CAT GCT TAA TCG CTC ACC
... ..

Todas as afirmativas são corretas quanto à seqüência, exceto:

- a) A introdução de uma adenina (A) entre as trincas indicadas por 2 e 3 pode alterar toda a transcrição a partir desse ponto.
- b) A mutação da terceira base na trinca indicada por 9 pode traduzir um aminoácido diferente.
- c) A seqüência pertence a um DNA e pode codificar um polipeptídeo contendo, pelo menos, 27 aminoácidos.
- d) A trinca indicada por 5 pode transcrever um códon CGA, o qual é reconhecido pelo anticódon GCU.
- e) A troca da primeira base, em quaisquer das trincas indicadas, pode resultar na troca do aminoácido respectivo na proteína.

8. (UFMS — mod.) Os ácidos nucleicos são as moléculas "mestras" da vida. Elas são "responsáveis" pela síntese de todas as enzimas que controlam, de alguma forma, a atividade celular. Relacione os ácidos nucleicos com suas características.

I — DNA

II — RNA

A — açúcar da molécula = desoxirribose

B — açúcar da molécula = ribose

C — presença de timina

D — presença de uracila

E — cadeia dupla

F — cadeia simples

G — capacidade de autoduplicação

Está(ão) correta(s) a(s) associação(ões):

- a) I — A
- b) II — B
- c) II — G
- d) I — C
- e) I — F
- f) II — E
- g) II — D

9. (UFPR — mod.) Um dos exemplos mais significativos da importância do trabalho conjunto dos ramos da ciência é a elucidação do código genético, que uniu biólogos, químicos e físicos. A respeito do código genético, é correto afirmar que (mais de uma alternativa pode ser correta):

- a) o DNA é uma grande molécula de proteína.
- b) os aminoácidos são codificados por "trincas" de bases nitrogenadas presentes na molécula do DNA.
- c) uma das mais importantes características do DNA é sua capacidade de replicação, ou seja, de originar cópias exatas de si mesmo.
- d) o códon ATG do DNA, após transcrição no RNAm, passa a ser UAC.
- e) para cada aminoácido haverá uma proteína correspondente.

10. (Unifor-CE — mod.) As proposições abaixo referem-se ao material hereditário (pode haver mais de uma alternativa correta):

- a) O material hereditário dos procariontes e eucariontes é o DNA.
- b) O material hereditário dos vírus pode ser o RNA ou o DNA.
- c) O RNA contém adenina, guanina, citosina e timina.
- d) O DNA contém adenina, guanina, citosina e uracila.
- e) No DNA estão escritas em códigos as informações hereditárias.

11. (UFSC) “A revanche veio na quinta-feira (06/04) passada. Depois do susto provocado no começo da semana pelos percalços jurídicos da *Microsoft*..., a Nasdaq, o pregão eletrônico das empresas de alta tecnologia, voltou a respirar [...]. O oxigênio foi dado pelo anúncio de que cientistas americanos tinham chegado ao fim do rastreamento

de um dos sonhos da medicina nesta virada de século: o mapeamento do genoma humano, ...”

Trecho extraído do artigo: “*Genoma: o primeiro esboço do mapa da vida*”, publicado na Revista *Época*, 10 abr. 2000, p. 123.

Com relação a esse assunto, é **correto** afirmar que:

- 01. o referido genoma está contido nos cromossomos.
- 02. a molécula seqüenciada é o DNA.
- 04. apenas quatro bases nitrogenadas — a Adenina, a Citosina, a Guanina e a Uracila — são possíveis de serem encontradas nesse mapeamento.
- 08. esse mapeamento já permitiu aos cientistas saberem a localização de todos os genes humanos.
- 16. um dos resultados possíveis dessa descoberta será a cura, no futuro, de algumas doenças genéticas, através da terapia gênica.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

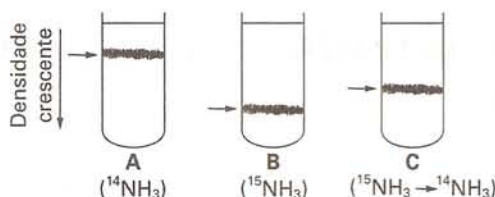


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (ENCE-UERJ-Cefet-UFRJ) Após a descoberta da estrutura do ADN, dois pesquisadores, Meselson e Stahl, demonstraram como ocorria a duplicação dessa molécula, por meio das seguintes experiências:

Bactérias multiplicaram-se por várias gerações num meio de cultura que tinha como única fonte de nitrogênio $^{14}\text{NH}_3$. Em seguida, o ADN total dessas bactérias foi extraído e determinada a sua densidade por centrifugação. Numa segunda experiência, as bactérias se multiplicaram, por várias gerações, em meio de cultura contendo apenas $^{15}\text{NH}_3$ como fonte de N (o ^{15}N é um isótopo mais pesado do que o ^{14}N). Verificou-se, por centrifugação, que o ADN total extraído dessas bactérias era mais denso do que o ADN anterior.

Na figura abaixo, os tubos A e B ilustram os resultados encontrados na centrifugação com os dois tipos de ADN. As setas indicam as posições das bandas onde se concentra o ADN.



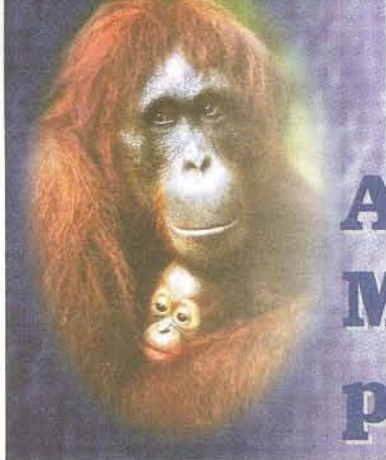
Numa terceira experiência, as bactérias, após permanecerem por várias gerações no meio contendo $^{15}\text{NH}_3$, foram transferidas para meio contendo $^{14}\text{NH}_3$ e aí deixadas por **uma geração**. O ADN desta geração de bactérias exibiu uma banda com densidade intermediária em relação às bandas observadas em A e B. Este resultado está representado no tubo C. Assim, os dois pesquisadores concluíram que a duplicação do ADN é semiconservativa.

Qual foi o raciocínio utilizado pelos pesquisadores para chegar a esta conclusão? Sua resposta pode ser acompanhada por um diagrama.

2. (UFF-RJ) Descreva a estrutura da molécula do ADN.

3. (Unicamp-SP) O metabolismo celular é controlado por uma série de reações em que estão envolvidas inúmeras proteínas. Uma mutação gênica pode determinar a alteração ou a ausência de algumas dessas proteínas, levando a mudanças no ciclo de vida da célula.

- a) Explique a relação que existe entre gene e proteína.
- b) Por que podem ocorrer alterações nas proteínas quando o gene sofre mutação?
- c) Em que situação uma mutação não altera a molécula protéica?



A Primeira lei de Mendel e noções de probabilidade

1. Introdução

No capítulo anterior fizemos uma retrospectiva histórica sobre o conhecimento da hereditariedade e comentamos a importância dos trabalhos desenvolvidos pelo monge Gregor Mendel. Esses trabalhos resultaram em leis fundamentais para a Genética, conhecidas atualmente como **Leis de Mendel**.

Vamos, então, conhecer um pouco do trabalho desse importante monge-cientista.

O sucesso do trabalho de Mendel pode ser atribuído principalmente a dois fatores, não considerados por outros cientistas da época: o material biológico escolhido e o método empregado na organização das experimentações, associado à aplicação da estatística no tratamento dos dados.

Durante vários anos, Mendel cultivou ervilhas (*Pisum sativum*) e analisou cuidadosamente os descendentes de cada cruzamento.

Mendel observou que os diferentes indivíduos dessa espécie apresentavam certas características com variedades bem definidas, sem formas intermediárias. Mendel considerou sete dentre essas características, sendo que cada uma delas apresentava duas variedades distintas.

Vamos analisar, a seguir, uma das experimentações de Mendel, como exemplo para compreendermos como ele chegou às suas importantes conclusões sobre os mecanismos da herança.

2. Uma das experimentações de Mendel e a Primeira lei

Mendel cruzava plantas que pertenciam a linhagens que ele chamava de **puras**. Essas linhagens eram aquelas que produziam descendentes com características que não variavam de uma geração para outra. A obtenção de linhagens puras em ervilhas é facilitada, pois a **autofecundação** é o processo natural de reprodução nessa espécie.

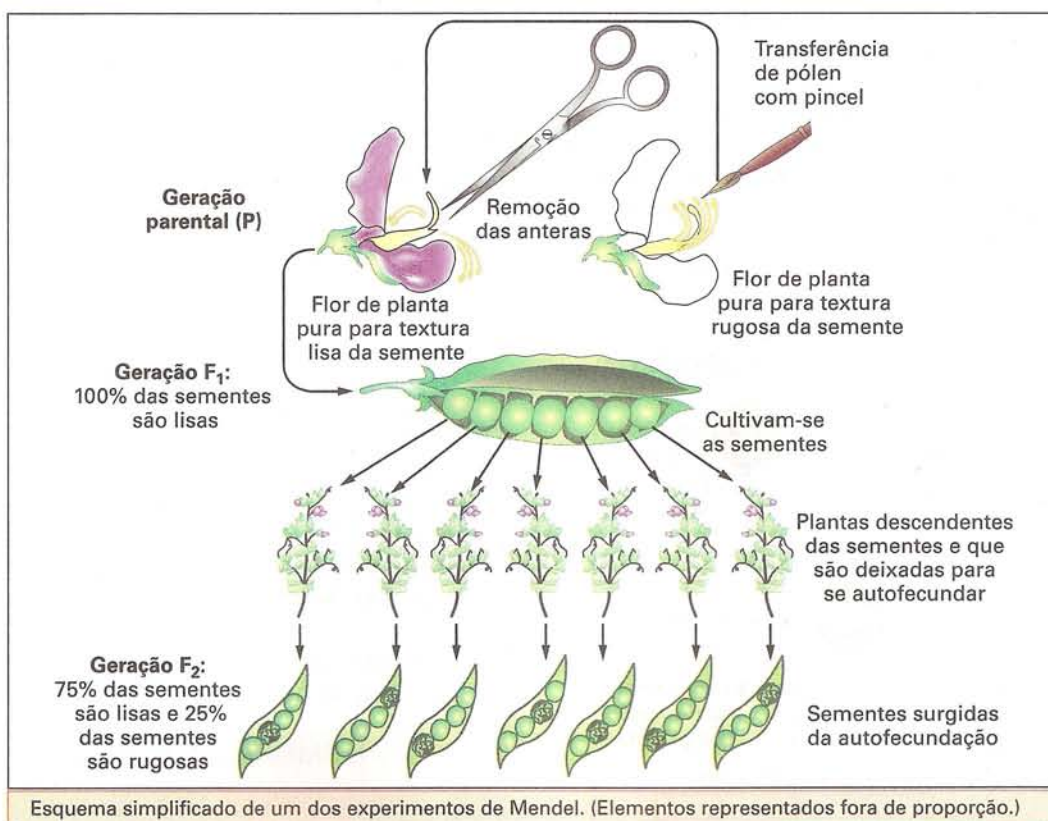
Vamos considerar, como exemplo, apenas uma das sete características que Mendel analisou: a textura da semente. Com relação a essa característica, existem duas variedades: lisa e rugosa.

Mendel cruzou plantas puras de ervilha que produziam sementes lisas com plantas puras que produziam sementes rugosas. Essas plantas, que deram início à experimentação, constituíram a **geração de pais** ou **geração parental**, representada pela letra **P**.

Os descendentes dessa geração **P** constituíram a geração **F₁** ou primeira geração de filhos. Os descendentes de **F₁** constituíram a geração **F₂**.

Mendel observou que na geração **F₁** desse cruzamento todos os indivíduos produziram sementes lisas, ou seja, a variedade rugosa não apareceu em **F₁**. A seguir, Mendel deixou ocorrer a autofecundação das plantas de **F₁** e analisou os descendentes (geração **F₂**). Ele pôde constatar que em **F₂** cerca de 75% das sementes eram lisas e 25% rugosas, o que dá uma proporção de 3 sementes lisas para 1 rugosa (**3 : 1**).

Mendel chamou de variedade **dominante** aquela que se manifestava na geração **F₁** e de **recessiva** aquela que permanecia “escondida” em **F₁**, só reaparecendo na geração **F₂** e com menos frequência.



Para todos os caracteres que estudou, obtinha sempre em F₂ a proporção aproximada de 3 variedades dominantes para 1 recessiva, como mostra a tabela a seguir:

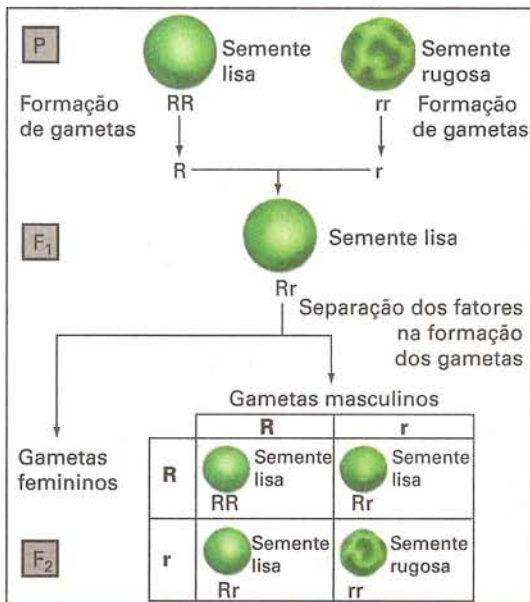
RESULTADOS ORIGINAIS DAS EXPERIMENTAÇÕES DE MENDEL				
Caráter	Geração P (cruzamento entre duas plantas puras)	Geração F ₁	Números obtidos na geração F ₂ (originada da autofecundação de F ₁)	Proporções reais obtidas em F ₂
Textura da semente	lisa × rugosa	Todas lisas	5 474 lisas 1 850 rugosas	2,96 lisas : 1 rugosa
Cor da semente	amarela × verde	Todas amarelas	6 022 amarelas 2 001 verdes	3,01 amarelas : 1 verde
Cor do tegumento da semente	cinza × branca	Todas cinza	705 cinza 224 brancas	3,15 cinza : 1 branca
Forma das vagens	lisa × ondulada	Todas lisas	882 lisas 299 onduladas	2,95 lisas : 1 ondulada
Cor das vagens	verde × amarela	Todas verdes	428 verdes 152 amarelas	2,82 verdes : 1 amarela
Posição das flores	axilar × terminal	Todas axilares	651 axilares 207 terminais	3,15 axilares : 1 terminal
Altura da planta	alta × baixa	Todas altas	787 altas 277 baixas	2,84 altas : 1 baixa

Para explicar esses resultados, Mendel propôs que cada caráter é determinado por um par de fatores ou partículas e que em cada variedade pura da geração parental esses fatores são iguais.

Vamos considerar que o par de fatores para a variedade lisa seja representado pelas letras **RR** e para a variedade rugosa, pelas letras **rr**. Na formação dos gametas, esses fatores se separam e para cada gameta vai apenas um fator de cada par: a variedade **RR** produz gametas que contêm apenas um fator **R** e a variedade **rr** produz gametas com apenas um fator **r**. A união entre esses gametas dá origem à geração F₁, que será, portanto, híbrida, possuindo um fator **R** e um **r** (**Rr**).

Apesar de estarem presentes os dois fatores, as plantas de F_1 manifestam sementes lisas, pois o fator **R** seria dominante em relação ao fator **r**.

As plantas **Rr**, por sua vez, produzem dois tipos de gameta, já que no processo de formação desses gametas os pares de fatores se separam, indo um fator para cada gameta. Formam-se, assim, gametas **R** e gametas **r** em proporções iguais. Na autofecundação de F_1 , esses gametas se unem ao acaso, podendo formar quatro tipos de combinação, como esquematizado abaixo usando uma representação para a geração F_2 . Essa esquematização é conhecida como **quadro de Punnet**:



Esquema de um dos experimentos de Mendel, com o quadro de Punnet para representar a geração F_2 .

Com base nesse raciocínio teórico, Mendel esperava obter, em F_2 , $\frac{3}{4}$ dos descendentes com sementes lisas e $\frac{1}{4}$ com sementes rugosas. Essas foram exatamente as proporções que obteve na prática.

Nas demais experimentações que realizou com os outros seis caracteres, os resultados se repetiram: $\frac{3}{4}$ da geração F_2 apresentavam a variedade dominante do caráter e $\frac{1}{4}$ apresentava a variedade recessiva, confirmando suas explicações teóricas.

As explicações de Mendel para a herança dos sete caracteres de ervilha, confirmadas por outros pesquisadores, deram origem à **Primeira lei de Mendel**, também conhecida como **Princípio da segregação dos fatores**, **Princípio da pureza dos gametas**, **Lei da disjunção** ou **Lei fundamental da Genética**.

O enunciado da Primeira lei de Mendel pode ser apresentado assim:

PRIMEIRA LEI DE MENDEL

Cada caráter é determinado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, indo um fator do par para cada gameta, que é, portanto, puro.

Na Primeira lei de Mendel, é analisada a herança de apenas um caráter por vez, falando-se, por essa razão, em **monoibridismo**.

3. A relação entre meiose e Primeira lei

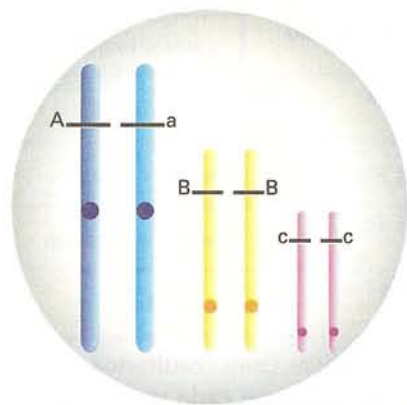
Como já comentado no capítulo anterior, Mendel chegou a suas conclusões antes que a meiose tivesse sido descrita.

Hoje já se sabe que os fatores mendelianos são os genes e que eles se localizam nos cromossomos. Estes existem aos pares nas células somáticas (**diplóides**). Os dois cromossomos que formam um par são chamados **homólogos** e possuem a mesma sequência de genes; estão, assim, relacionados com as mesmas características genéticas.

A posição que cada gene ocupa no cromossomo é chamada **lócus** gênico. Os genes que ocupam o mesmo lócus em cromossomos homólogos podem se apresentar sob duas ou mais formas distintas, chamadas **alelos**.

Cada gene é um segmento da molécula de DNA e contém a informação para a síntese de uma molécula de RNA, que codificará determinado polipeptídeo ou proteína. Cada alelo de um gene contém diferenças nessas informações, codificando RNAs diferentes, porém relacionados ao caráter

determinado por aquele gene. Observe a figura a seguir, que mostra uma célula hipotética:



Esquema de célula diplóide ($2n$) com 6 cromossomos ou 3 pares de cromossomos homólogos. Apenas os cromossomos foram destacados, sem a preocupação de representar o núcleo e outras estruturas celulares. Esta simbologia será a que adotaremos nos demais capítulos deste livro. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

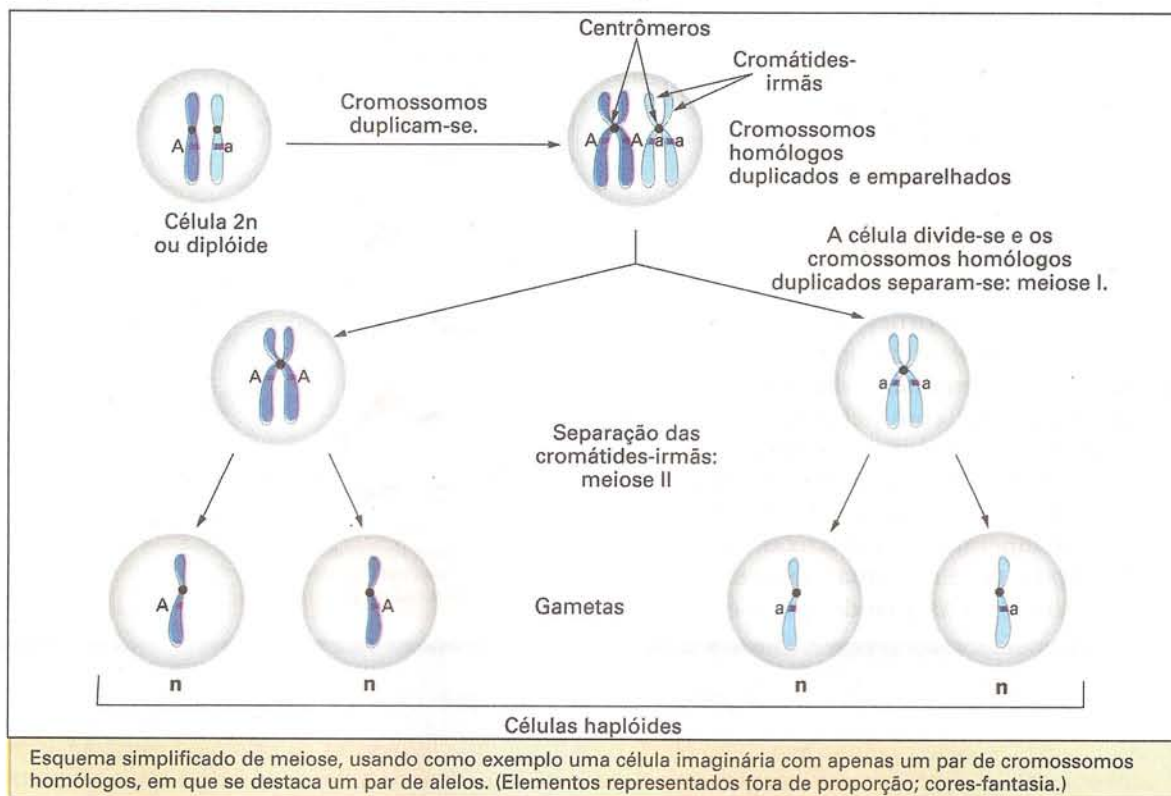
Nessa célula podemos destacar alguns pares de alelos: **Aa**, **BB** e **cc**, por exemplo.

Quando, nas células de um indivíduo, os alelos que compõem um par não são idênticos entre si, o indivíduo é denominado **heterozigótico** e diz-se que os genes estão em **heterozigose** (Mendel usava o termo **híbrido** para esses casos). Quando os alelos são idênticos, o indivíduo é denominado **homozigótico** e diz-se que os alelos estão em **homozigose** (Mendel usava o termo **puro** para esses casos).

Estão em heterozigose os alelos **A** e **a** e em homozigose os alelos **B** e **B** e **c** e **c**.

Em cada espécie de ser vivo o número de cromossomos por célula somática é constante. Esse número se mantém quando há reprodução sexuada porque na formação dos gametas ocorre meiose, processo em que se verifica a separação dos homólogos. Na fecundação dois gametas se fundem e restabelece-se o número inicial de cromossomos.

Vamos analisar agora a relação entre meiose e Primeira lei. Para simplificar, consideremos uma célula hipotética com apenas um par de homólogos, em que se destaca um par de alelos em heterozigose:



Ao final da meiose, formam-se, portanto, quatro células haplóides, que são os **gametas**. No exemplo dado, destacamos os alelos **Aa**, podendo-se observar que esses alelos se separam, na formação dos gametas, em decorrência da separação dos cromossomos homólogos: 50% dos gametas portam o gene **A** e 50% o gene **a**. Verifica-se, desse modo, que Mendel, antes mesmo de saber da existência dos cromossomos e da meiose, interpretou corretamente o comportamento de seus “fatores” na formação dos gametas e concluiu, também corretamente, que esses fatores ocorrem aos pares nas células do corpo e separadamente nos gametas.

4. Alguns conceitos fundamentais em Genética

4.1. Fenótipo e genótipo

A palavra **característica** ou **caráter** designa qualquer particularidade de um indivíduo: a cor de uma flor, o tipo de cabelo, a cor dos olhos e o grupo sanguíneo.

Um mesmo caráter pode apresentar duas ou mais variáveis, sendo que a variável de cada

caráter é denominada **fenótipo**. Assim, para o caráter “grupo sanguíneo do sistema **ABO**” pode haver quatro fenótipos: tipo **A**, tipo **B**, tipo **AB** e tipo **O**.

Os caracteres nem sempre são visíveis, como é o caso do grupo sanguíneo a que um indivíduo

pertence. Para determiná-lo, é necessário realizar testes especiais.

O termo **genótipo** pode ser aplicado tanto ao conjunto total de genes de um indivíduo como a cada par de alelos em particular.

Os filhos herdam dos pais um certo genótipo, que tem a potencialidade de expressar um fenótipo. Um mesmo genótipo pode expressar-se por diferentes fenótipos, dependendo de sua interação com o meio.

O genótipo determina, portanto, uma escala de variação fenotípica para o indivíduo, sendo que o meio ambiente determina em que ponto dessa escala o indivíduo está.

O meio não é somente o ambiente externo ao corpo do indivíduo. É também tudo o que cerca os cromossomos: o nucleoplasma, o citoplasma, o corpo do organismo.

Genótipo + Meio = Fenótipo

Os gatos siameses fornecem bom exemplo da atuação do meio ambiente no genótipo. Esses animais possuem as extremidades do corpo (focinho, orelhas, patas e cauda) com pêlos pretos e o resto do corpo com pêlos brancos. A cor do pêlo deve-se à presença de pigmento, cuja síntese é comandada pela ação de um gene que só se manifesta nas áreas do corpo com temperaturas mais baixas. Nas demais regiões do corpo o gene não atua. Nesse exemplo, o meio ambiente determina quando, como e se o gene

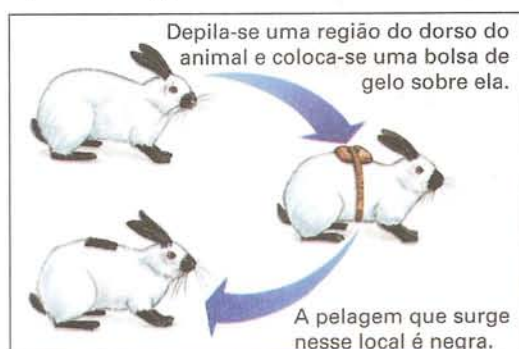
vai se manifestar.



Fotografia de gatos siameses.

Richard Hamilton Smith/Corbis

Em coelhos himalaia ocorre mecanismo semelhante. Nesses animais, é possível induzir experimentalmente a ação de genes, como representado no esquema a seguir:



Esquema de experimento realizado com coelhos himalaia a fim de induzir a formação de pelagem negra.

Genes e ambiente

O Projeto Genoma Humano tem como objetivo conhecer as informações genéticas da espécie humana. Esse conhecimento obrigatoriamente vai gerar um número muito grande de testes para toda e qualquer propensão genética. Conseqüentemente, haverá maior capacidade de prever o futuro das pessoas. Isso deve gerar novos problemas éticos para a sociedade, além de uma reavaliação no posicionamento da linha que separa o ético do não-ético.

Sabemos que a Genética não determina totalmente o destino das pessoas. Toda característica possui um componente genético e outro ambiental. Esse conceito básico determina que uma característica (fenótipo) é o produto da interação de genes (genótipo) com o ambiente. Esse princípio garante que nunca será possível determinar *a priori* e de maneira absoluta o futuro de um indivíduo a partir de seus genes.

Algumas características são determinadas de maneira absoluta pelos genes, como é o caso de mutações no gene da distrofina. Há também muitas características de uma pessoa que são determinadas principalmente pelo ambiente, como, por exemplo, o idioma (apesar de que a capacidade de falar, qualquer que seja o idioma, faz parte das características genéticas do ser humano).

Na prática, observa-se que a grande maioria das características fenotípicas é determinada pela interação de grande número de genes com grande número de fatores ambientais. Cada vez mais a Genética vai poder analisar os genes humanos, permitindo que um lado da equação seja voluntariamente alterado. O que as pessoas esquecem, fascinadas com o desenvolvimento da Genética, é que existe o outro lado da equação. O ambiente, tão importante quanto a Genética, é passível de manipulação pelo homem há séculos. Nesse caso, linhas divisórias terão de ser determinadas simultaneamente nos dois campos, o genético e o ambiental.

Imagine, por exemplo, um teste hipotético capaz de determinar se um indivíduo tem propensão à esquizofrenia. Testes como esse possivelmente seriam um dos resultados mais controversos do Projeto Genoma

Humano. Por um lado, a maioria das pessoas provavelmente se oporia à utilização desse teste para empregar um indivíduo, para discriminá-lo ou determinar o preço de seu seguro-saúde. Por outro lado, qual seria nossa reação se a sociedade estivesse preparada para utilizar o resultado desse teste com o objetivo de evitar que um indivíduo propenso à esquizofrenia obtivesse um emprego com maiores probabilidades de induzir o aparecimento da doença? Devemos lembrar que nos casos de genes envolvidos em propensões a doenças, tanto o ambiente quanto o genótipo determinam o aparecimento do fenótipo. Portanto, qualquer consideração ética terá que obrigatoriamente levar em conta os dois lados da equação.

Do mesmo modo que um fenótipo é determinado por uma interação entre genes e ambiente, as decisões éticas necessariamente terão de ser determinadas por uma interação entre o conhecimento científico e o ambiente no qual a ciência existe. Para tanto, precisamos garantir a todas as pessoas uma compreensão mínima dos avanços da Genética.

Adaptado de artigo publicado na *Revista USP*, nº 24, 1995.

4.2. Dominância e recessividade

Quando, no indivíduo diplóide, o fenótipo determinado por um alelo se manifesta, diz-se que esse alelo é **dominante**. No caso de o alelo precisar estar em dose dupla para se manifestar, pois sozinho não se manifesta, ele é chamado de **recessivo**.

Alelo dominante: aquele que determina o mesmo fenótipo, tanto em homozigose como em heterozigose.

Alelo recessivo: aquele que só se expressa quando está em homozigose.

A simbologia utilizada para representar os genes é bastante variada. Uma delas consiste em adotar letra maiúscula para indicar o alelo dominante e letra minúscula para o alelo recessivo, sendo a letra maiúscula colocada sempre antes da minúscula. Por exemplo: escreve-se **Aa** e não **aA**.

Freqüentemente, nesses casos, a letra que se escolhe para designar os alelos é aquela que inicia a palavra que designa o **fenótipo recessivo**. Assim, se o fenótipo recessivo para uma característica for o **branco**, a letra utilizada será **b**.

O que é alelo dominante e alelo recessivo em termos moleculares?

Tomando como exemplo a herança da textura da semente em ervilhas, o alelo dominante é transcrito em moléculas de RNA que são traduzidas em um tipo de enzima que ajuda a converter açúcar em amido na semente. O alelo recessivo codifica uma forma inativa dessa enzima. Dessa maneira, no homozigoto recessivo o açúcar fica acumulado na semente e não é convertido em amido. À medida que a semente se desenvolve, o alto teor de açúcar provoca grande absorção de água por osmose e a semente assume o aspecto inchado.

Entretanto, à medida que a semente amadurece, ela perde essa água, o que dá à semente o aspecto rugoso. A presença de pelo menos um alelo dominante já é suficiente para a produção de enzimas ativas em quantidades ideais para que ocorra a síntese de amido a partir do açúcar e para a semente apresentar o aspecto liso. Dessa maneira, tanto o homozigoto dominante quanto o heterozigoto formam sementes lisas.

Deve-se lembrar, ainda, que o fato de o alelo ser dominante não significa que ele seja “melhor” do que o recessivo. Na espécie humana, por exemplo, existem muitos genes que são dominantes e causam doenças graves, enquanto seus alelos recessivos condicionam fenótipo normal e sadio.

Outra noção errada que o conceito de alelo dominante pode trazer é a sua maior ocorrência nas populações. O alelo dominante pode ser raro em uma população, enquanto seu alelo recessivo pode ser abundante, e vice-versa.

5. Noções de probabilidade

Um dos motivos do sucesso do trabalho de Mendel foi a utilização de métodos estatísticos para interpretar os resultados obtidos. Ele foi o introdutor da Estatística no estudo da Genética.

Uma parte importantíssima da Estatística é a que estuda a **probabilidade**. A teoria da probabilidade é utilizada para estimar matematicamente resultados de eventos que ocorrem “ao acaso”. A previsão de

resultados é feita com base em grande número de repetições dos eventos. Quanto maior for o número de repetições, mais precisas serão as previsões.

A probabilidade de um evento ocorrer é definida pelo quociente entre o número de eventos desejados e o número total de eventos possíveis, que constitui o espaço amostral. Os elementos que constituem o espaço amostral devem ter a mesma chance de ocorrência, ou seja, têm que ser equiprováveis.

Tomando como exemplo o lançamento de um dado, em que todas as faces têm a mesma chance de ocorrer (são equiprováveis), pode-se calcular a probabilidade de uma das faces cair voltada para cima. Por exemplo, a face 4:

A = evento desejado → face 4

S = (1, 2, 3, 4, 5, 6) → eventos possíveis ou espaço amostral

P = probabilidade

Número de eventos desejados = 1

Número total de eventos possíveis = 6

Logo, $P(\text{face } 4) = \frac{1}{6}$.

Portanto, a probabilidade de sair o número 4 no lançamento de um dado é de uma em seis.

Em todos os casos, as probabilidades de eventos se referem a resultados esperados, o que nem sempre acontece na prática.

Os resultados obtidos aproximam-se dos resultados esperados à medida que aumentamos o número de repetições de eventos.

Em função disso, a aplicação da probabilidade em Genética só pode ser feita com base em grande número de observações. Por isso, os organismos escolhidos em experimentações genéticas são aqueles que possuem ciclo reprodutivo rápido, com grande número de descendentes em cada ciclo. Nesse sentido, a escolha da planta de ervilha por Mendel foi bastante apropriada, pois ela atende a esses dois requisitos básicos.

Quando se diz que a proporção fenotípica é **3 : 1**, isso não significa que um casal com quatro filhos terá obrigatoriamente três deles com fenótipo dominante e um com recessivo. A proporção indica simplesmente que cada filho desse casal tem três chances em quatro de apresentar o fenótipo dominante e uma chance em quatro de apresentar o recessivo. Além disso, esse casal pode ter quatro filhos com o mesmo fenótipo para uma certa característica.

5.1. Probabilidade de ocorrer um ou outro evento

Até aqui, referimo-nos à probabilidade de ocorrer apenas um evento. Entretanto, pode-se desejar saber qual a probabilidade de ocorrer um ou

outro evento. Por exemplo: qual é a probabilidade de sair o número 2 ou o número 5 em um lançamento de dado?

Nesse caso, consideram-se dois eventos: ou o número 2 ou o 5. Esses eventos não ocorrem juntos, pois, se sair o número 2, não sairá o número 5. Assim, eles são mutuamente exclusivos.

A probabilidade de ocorrerem eventos mutuamente exclusivos é dada pela soma das probabilidades isoladas de cada evento. No exemplo dado, a probabilidade de sair 2 ou 5 será:

$$P(2) = \frac{1}{6}$$

$$P(5) = \frac{1}{6}$$

$$P(2 \text{ ou } 5) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

A probabilidade de ocorrerem eventos mutuamente exclusivos é dada pela **soma** das probabilidades isoladas de cada evento:

$$P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B)$$

5.2. Probabilidade de ocorrer um e outro evento

Eventos iguais

Pode-se desejar saber a probabilidade de ocorrerem dois eventos independentes e iguais. Por exemplo: sair o número 3 em dois dados lançados ao mesmo tempo. Os eventos são independentes, pois sair o número 3 em um dado não interfere na chance de sair o número 3 em outro dado. Deseja-se saber a chance de ocorrer um evento e outro. Nesses casos, a probabilidade é dada pela **multiplicação** das probabilidades isoladas.

$$P(3) = \frac{1}{6}$$

$$P(3 \text{ e } 3) = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$$

Eventos diferentes

Vamos aprender, agora, como se calcula a probabilidade de dois eventos diferentes e independentes ocorrerem juntos. Neste caso, devemos considerar dois tipos de situação: um em que a ordem dos eventos é importante e outro em que a ordem não é importante.

Quando a ordem importa:

Calculemos a probabilidade de obter o número 1 em um dado e, a seguir, o número 6 em outro

dado. Neste caso, o espaço amostral (S), ou seja, os eventos possíveis, são:

$S = [(1, 1) (1, 2) (1, 3) (1, 4) (1, 5) (1, 6)$
 $(2, 1) (2, 2) (2, 3) (2, 4) (2, 5) (2, 6)$
 $(3, 1) (3, 2) (3, 3) (3, 4) (3, 5) (3, 6)$
 $(4, 1) (4, 2) (4, 3) (4, 4) (4, 5) (4, 6)$
 $(5, 1) (5, 2) (5, 3) (5, 4) (5, 5) (5, 6)$
 $(6, 1) (6, 2) (6, 3) (6, 4) (6, 5) (6, 6)]$

O resultado desejado está destacado e corresponde a 1 evento em 36:

$$P(1 \text{ e } 6) = \frac{1}{36}$$

Pode-se calcular essa probabilidade de modo mais simples, sem escrever todo o espaço amostral. Veja:

$$P(1) = \frac{1}{6}$$

$$P(6) = \frac{1}{6}$$

$$P(1 \text{ e } 6) = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$$

Quando a ordem não importa:

Se desejássemos saber qual a probabilidade de ocorrer o número 1 e o número 6 sem especificar a ordem, poderíamos considerar como eventos possíveis tanto (1 e 6) como (6 e 1). Nesse caso, o cálculo da probabilidade deverá apresentar-se da seguinte maneira:

$$P(1 \text{ e } 6) = \frac{1}{36}$$

$$P(6 \text{ e } 1) = \frac{1}{36}$$

$$P(1 \text{ e } 6) \text{ ou } (6 \text{ e } 1) = \frac{1}{36} + \frac{1}{36} = \frac{2}{36} = \frac{1}{18}$$

Probabilidade de ocorrência de dois ou mais eventos independentes

- Deseja-se o mesmo evento: **A e A**
 $P(A \text{ e } A) = P(A) \times P(A)$
- Desejam-se eventos diferentes: **A e B**
 - se a ordem for importante (1ª A e 2ª B):
 $P(1^\circ A \text{ e } 2^\circ B) = P(A) \times P(B)$
 - se a ordem não for importante:
 $P(A \text{ e } B) = P(1^\circ A \text{ e } 2^\circ B) + P(1^\circ B \text{ e } 2^\circ A)$

6. Probabilidade e Primeira lei

Vamos aplicar aos experimentos de Mendel as noções aprendidas.

Na geração parental, os indivíduos possuidores de sementes lisas eram homozigóticos dominantes e os possuidores de sementes rugosas, homozigóticos recessivos. Na meiose, esses indivíduos formavam apenas um tipo de gameta com relação a esse par de alelos: o indivíduo RR formava gametas com alelo **R** e o indivíduo rr, gametas com alelo **r**. Assim, a probabilidade de ocorrer gameta com o alelo **R** (simplicadamente chamado de gameta **R**) é 100% ou 1, e a de ocorrer com o alelo **r** (simplicadamente chamado de gameta **r**) também é 100% ou 1.

A probabilidade de um gameta **R** e um gameta **r** se encontrarem é dada pela multiplicação das probabilidades isoladas:

$$P(\text{gameta } R) = 1$$

$$P(\text{gameta } r) = 1$$

$$P(Rr) = 1 \times 1 = 1$$

Na geração F_1 , espera-se que 100% dos indivíduos sejam Rr, o que realmente foi obtido por Mendel.

Cada indivíduo Rr produz 50% de gametas **R** e 50% de gametas **r**, pois os alelos separam-se na formação dos gametas.

$$P(\text{gameta } R) = \frac{1}{2}$$

$$P(\text{gameta } r) = \frac{1}{2}$$

Esses indivíduos produzem gametas masculinos e femininos que se encontram ao acaso, podendo-se obter as combinações a seguir:

		Gametas ♂	
		$\frac{1}{2} R$	$\frac{1}{2} r$
Gametas ♀	$\frac{1}{2} R$	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ (RR)	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ (Rr)
	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ (Rr)	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ (rr)

Quadro de Punnett.

A probabilidade de um gameta feminino **R** encontrar um gameta masculino **R** é dada pela multiplicação das probabilidades de ocorrer cada gameta. O mesmo raciocínio é aplicado para a probabilidade de um gameta **r** encontrar outro gameta **r**:

$$P(R \text{ e } R) = P(R) \times P(R) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$P(r \text{ e } r) = P(r) \times P(r) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

Esses são casos de probabilidade de eventos **independentes e iguais**.

Para os híbridos, mais uma etapa deve ser acrescentada. Aqui se apresentam duas possibilidades: o gameta feminino **R** pode encontrar-se com o gameta masculino **r**, ou o gameta feminino **r** pode encontrar-se com o gameta masculino **R**. Nos dois casos formam-se híbridos. Assim, calculamos isoladamente cada uma das possibilidades e as somamos a seguir: é a regra das probabilidades de ocorrência de dois eventos independentes e diferentes, em que a ordem não é importante.

$$P(R \text{ e } r) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4} \quad P(r \text{ e } R) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$P(Rr) = P(R \text{ e } r) + P(r \text{ e } R)$$

$$P(Rr) = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

As proporções genotípicas esperadas em F_2 de Mendel são, portanto:

$$\frac{1}{4} RR : \frac{2}{4} Rr : \frac{1}{4} rr \text{ ou, simplesmente, } 1 : 2 : 1$$

Essas foram as proporções que Mendel obteve.

Para calcular as proporções fenotípicas, utiliza-se a regra dos eventos mutuamente exclusivos: a probabilidade de ocorrerem sementes lisas é dada pela soma da probabilidade de ocorrer o genótipo **RR** ou o **Rr**.

$$P(\text{lisa}) = P(RR) + P(Rr)$$

$$P(\text{lisa}) = \frac{1}{4} + \frac{2}{4}$$

$$P(\text{lisa}) = \frac{3}{4}$$

A probabilidade de ocorrer semente rugosa em F_2 é dada apenas pelo genótipo **rr**, sendo, portanto, $\frac{1}{4}$.

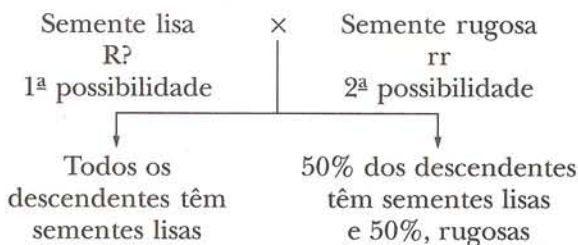
As proporções fenotípicas esperadas em F_2 de Mendel são:

$$\frac{3}{4} \text{ lisas} : \frac{1}{4} \text{ rugosa ou, simplesmente, } 3 : 1$$

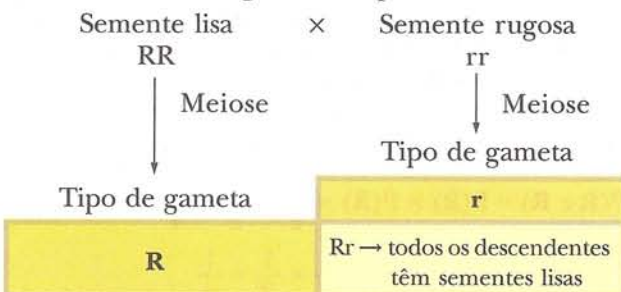
Essas foram as proporções que Mendel obteve.

7. Cruzamento-teste e retrocruzamento

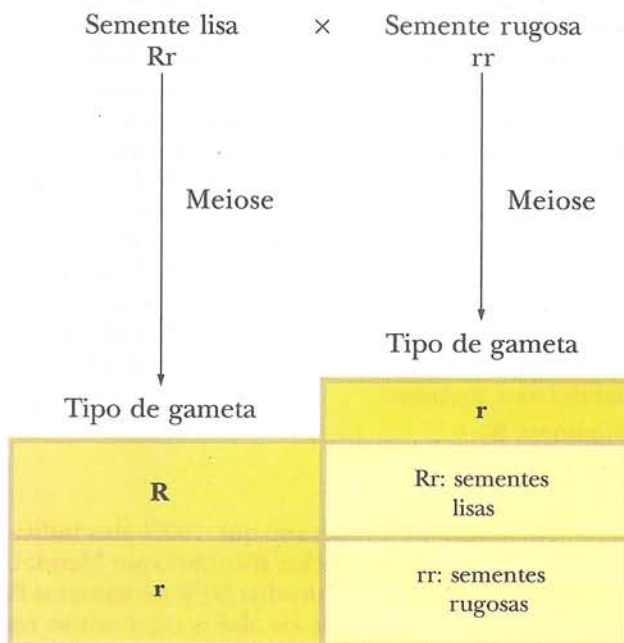
O **cruzamento-teste** determina o genótipo de indivíduos que apresentam fenótipo dominante, pois eles podem ser homozigóticos ou heterozigóticos. Para isso, são cruzados com indivíduos recessivos para a característica, e a descendência é analisada.



Pela análise da primeira possibilidade, pode-se concluir que, se todos os descendentes têm sementes lisas, o genitor cujo genótipo se pretende descobrir é homozigótico **RR**, pois:



Pela análise da segunda possibilidade, pode-se concluir que o genitor com fenótipo dominante é heterozigótico **Rr**, pois:

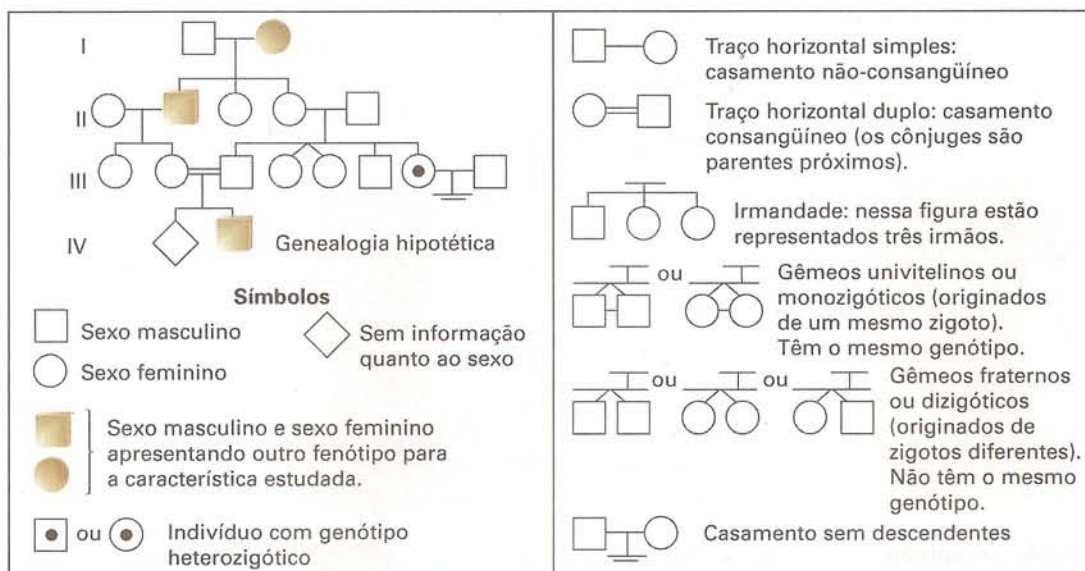


O **retrocruzamento** refere-se ao acasalamento de indivíduos da geração F_1 com um de seus genitores ou com indivíduos de genótipo idêntico a um de seus genitores.

8. Genealogias ou heredogramas

Genealogias, heredogramas ou ainda *pedigrees* são representações gráficas da herança de uma ou mais características genéticas em uma família.

A genealogia apresentada a seguir foi montada de modo a fornecer todos os símbolos que podem ser utilizados na sua construção.



Símbolos usados em genealogias.

9. Probabilidade condicional

Os casos de probabilidade condicional são frequentes em problemas de genética. Vamos analisá-los, então, resolvendo a seguinte questão:

(Fuvest-SP) Uma planta heterozigótica de ervilha com vagens infladas produziu, por autofecundação, descendência constituída por dois tipos de indivíduos, com vagens infladas e com vagens achatadas.

- Tomando ao acaso um desses descendentes, qual a probabilidade de ele ser heterozigótico?
- Tomando ao acaso um descendente com vagens infladas, qual a probabilidade de ele ser homozigótico?

Resolução:

- Da autofecundação de heterozigotos resultam, em termos de probabilidade, 50% de indivíduos homozigóticos e 50% de heterozigóticos, segundo a Primeira lei de Mendel.

Geração P: $Aa \times Aa$

Geração F_1 : $\frac{1}{4} AA : \frac{2}{4} Aa : \frac{1}{4} aa$

A probabilidade de um descendente, tomado ao acaso, ser heterozigótico é de 50%, ou seja, $\frac{1}{2}$.

- Cuidado!** O problema não pede a probabilidade de um indivíduo tomado ao acaso ser homozigótico, em que a

resposta seria 50%. O problema propõe um caso de “probabilidade condicional”, em que existe uma condição já definida: as vagens são infladas. Os indivíduos de vagens achatadas são excluídos. Dentre os indivíduos com vagens infladas, $\frac{1}{3}$ é de homozigoto (AA) e $\frac{2}{3}$ de heterozigotos (Aa).

Aa	$\times$	Aa	
$\downarrow$		$\downarrow$	Gametas
Gametas		A	a
A		AA inflada	Aa inflada
a		Aa inflada	aa achatada

↑
Não deve ser considerado.

A probabilidade de um descendente com vagem inflada ser homozigótico é $\frac{1}{3}$.

Algumas características humanas que obedecem à Primeira lei de Mendel

Na espécie humana, assim como em todas as outras espécies de seres vivos, existem vários caracteres cuja herança provém de um par de alelos com relação de dominância completa. Dentre esses caracteres podemos citar:

- **capacidade gustativa para o PTC (feniltiocarbamida):** o PTC é uma substância desagradavelmente amarga para algumas pessoas e totalmente insípida para outras. Verificou-se que a sensibilidade ao PTC, ou seja, sentir gosto amargo, é causada por um alelo dominante;
- **forma do lobo da orelha:** caráter determinado por um par de alelos, do qual o alelo dominante é responsável pelo lobo solto e o recessivo, pelo lobo preso ou aderente:



P. Jude/SPL

Fotografia de orelha com lobo solto.



Jennie Woodcock; Reflections Photolibrary/Corbis

Fotografia de orelha com lobo aderente.

- **capacidade de enrolar a língua:** algumas pessoas conseguem enrolar a língua como mostra a foto a seguir, enquanto outras não conseguem. A capacidade de enrolar a língua desse modo é hereditária e determinada por um alelo dominante;



ImageBank

Fotografia de pessoa mostrando a capacidade de enrolar a língua.

- **polidactilia:** anomalia caracterizada pela presença de mais de cinco dedos nas mãos e/ou nos pés, sendo que o alelo que a determina (**N**) é dominante em relação a seu alelo **n**, responsável pelo fenótipo normal. Este é um exemplo de alelo dominante determinando uma anomalia:



Bettmann/Corbis

Fotografia de uma família em que cada pessoa possui seis dedos nas mãos e sete dedos nos pés.

- **albinismo**: caracteriza-se pela ausência de pigmentos, fenótipo que ocorre na espécie humana e em outras espécies de seres vivos.

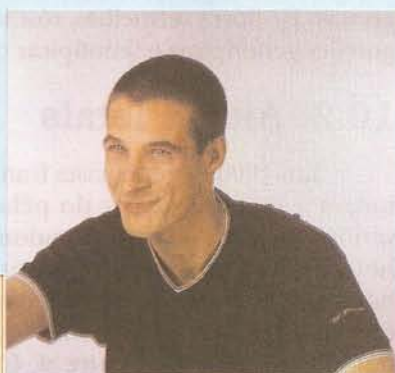
O albinismo é determinado por um alelo recessivo que condiciona a síntese de uma enzima incapaz de realizar a transformação de substâncias precursoras em melanina, pigmento encontrado na pele, nos pêlos e nos olhos. O alelo normal é dominante e comanda a síntese da enzima que efetua essa transformação, possibilitando a pigmentação da pele;



Dr. P. Marazzi/SPL

Fotografia de mulher albina.

- **bico-de-viúva**: projeção em forma de V do cabelo na testa. É condição determinada por alelo dominante. Quem não tem bico-de-viúva é homozigoto recessivo.



Stock Photos

Fotografia de pessoa com bico-de-viúva.



Zeta/Stock Photos

Fotografia de pessoa sem bico-de-viúva.

10. Modificações nas proporções fenotípicas mendelianas do monoibridismo

Até aqui estudamos a herança de caracteres determinados por pares de alelos com relação de dominância e recessividade (considerando que certo genótipo manifestará sempre determinado fenótipo). Dessa forma, no cruzamento entre dois heterozigotos as proporções esperadas para os descendentes são:

- **proporção fenotípica** — 3 fenótipos dominantes : 1 fenótipo recessivo;
- **proporção genotípica** — 1 homozigoto dominante : 2 heterozigotos : 1 homozigoto recessivo.

Em experimentações realizadas por alguns pesquisadores foi verificado que, para caracteres determinados por um par de alelos, as proporções **fenotípicas** mendelianas esperadas nem sempre ocorriam. Tais casos serão aqui analisados, sendo possível notar que, apesar de as proporções fenotípicas esperadas não coincidirem com aquelas obtidas pelo mendelismo, as proporções genotípicas são as mesmas.

Esses casos não diminuem nem invalidam os princípios estabelecidos por Mendel, mas os ampliam. Em todos eles, os pares de alelos separam-se na formação dos gametas, indo um alelo de cada par para um gameta diferente. Portanto, a Primeira lei de Mendel continua válida. As únicas modificações observadas se referem às proporções fenotípicas esperadas, e não ao mecanismo da herança.

10.1. Ausência de dominância

Quando não há relação de dominância e recessividade entre os alelos de um gene responsável por uma característica, surge no heterozigoto um fenótipo intermediário. Esses são os casos de **ausência de dominância** (herança intermediária e codominância). Dessa forma, a proporção genotípica é igual à fenotípica, pois cada genótipo manifesta um fenótipo diferente. Assim, do cruzamento entre

dois heterozigotos, obtém-se:

- **Proporção genotípica** — $1AA : 2AB : 1BB$
- **Proporção fenotípica** — $1A : 2AB : 1B$

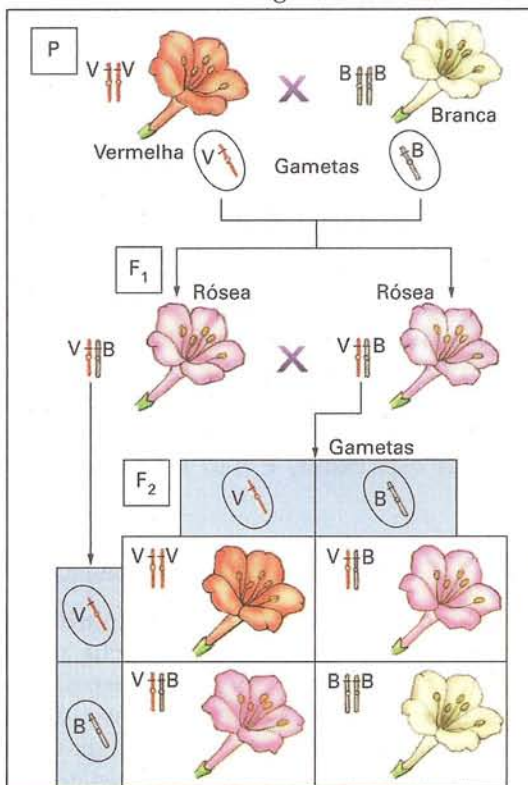
Quando há ausência de dominância, não se fala em alelos dominantes e em alelos recessivos, e a representação gráfica desses alelos pode ser a inicial maiúscula da letra do fenótipo manifestado quando em homozigose, ou usa-se uma letra maiúscula qualquer com um **indicador** que diferencie os alelos:

PROPORÇÕES RESULTANTES DE CRUZAMENTO ENTRE HETEROZIGOTOS		
	Genotípica	Fenotípica
Dominância	$1AA : 2Aa : 1aa$	$3 : 1$
Ausência de dominância	$1AA : 2AB : 1BB$ ou $1L^A L^A : 2L^A L^B : 1L^B L^B$	$1 : 2 : 1$

Vamos analisar, então, alguns casos em que ocorre ausência de dominância entre alelos.

Herança da cor da flor em *Mirabilis jalapa*

Vamos analisar o seguinte cruzamento:



Esquema de cruzamento em *Mirabilis jalapa*, analisando o caráter cor da flor.

Na geração parental, as flores de *Mirabilis jalapa* são vermelhas e brancas. A primeira geração de descendentes (F_1) não apresenta o fenótipo vermelho nem o branco, mas um fenótipo intermediário: o róseo.

O fenótipo vermelho decorre de um par de alelos **VV**; o fenótipo branco, de um par de alelos **BB**; e o fenótipo rosa, de um par de alelos **VB**. Assim, para os fenótipos vermelho e branco essa planta é homozigótica, enquanto para o fenótipo rosa ela é heterozigótica.

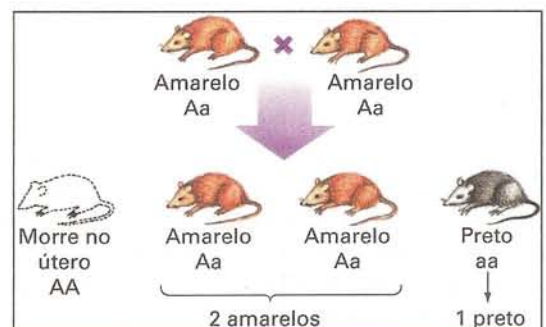
O alelo **V** seria dominante sobre o alelo **B** se o heterozigoto **VB** apresentasse o fenótipo vermelho. Entretanto, no heterozigoto **VB** manifestam-se tanto o alelo **V** como o alelo **B**, produzindo uma planta de cor intermediária.

Na autofecundação de flores róseas ou na fecundação cruzada entre duas flores róseas originam-se, na geração F_2 , flores vermelhas, róseas e brancas, em proporções genotípicas e fenotípicas que se repetem.

10.2. Alelos letais

Em 1905, o geneticista francês Cuénot, que estudava a herança da cor do pêlo de camundongos, verificou que todos os camundongos amarelos eram heterozigóticos e que os agutis (selvagens) eram homozigóticos recessivos; estranhamente não nasciam camundongos amarelos homozigóticos. Ao cruzar camundongos amarelos entre si, Cuénot sempre obtinha uma proporção fenotípica de 2 amarelos para 1 aguti ($2 : 1$), não se verificando a proporção mendeliana esperada de $3 : 1$. Para explicar esse resultado, Cuénot propôs que o espermatozoide portador do gene dominante (**A**) não fecundava o óvulo portador do gene **A**.

Posteriormente, outros pesquisadores verificaram que o indivíduo **AA** chegava a se formar, mas morria no útero antes de nascer. Propôs-se, então, que o gene **A** em dose dupla era letal, ou seja, provocava a morte dos indivíduos. Assim, esse gene, apesar de dominante para cor do pêlo, é recessivo para a letalidade, pois apenas em homozigose determina a morte do indivíduo.



Esquema do cruzamento entre ratos e dos descendentes, analisando o caráter cor do pêlo.

Alguns exemplos de alelos letais na espécie humana

- **Doença de Tay-Sachs** ou **idiotia amaurótica infantil**: os indivíduos afetados apresentam paralisia, cegueira e morte por volta do segundo ano de vida. Nesse caso, o indivíduo afetado é **ss** e os indivíduos normais são **SS** ou **Ss**.
- **Acondroplasia**: tipo de nanismo em que a cabeça e o tronco são normais, mas as pernas e os braços são muito curtos. Os homozigotos **AA** apresentam a anomalia e morrem antes de nascer, pois a deformidade nos ossos é muito acentuada. Os indivíduos **Aa** também apresentam a anomalia, mas nascem e conseguem sobreviver. Já os indivíduos **aa** são normais.
- **Braquidactilismo** ou **braquifalângia**: os indivíduos afetados apresentam os dedos das mãos muito curtos. Os indivíduos normais são **bb** e os afetados são **BB** ou **Bb**. Os indivíduos **BB**, no entanto, morrem ao nascer, só sobrevivendo os heterozigóticos.

Os alelos letais que determinam a morte dos indivíduos antes de atingirem a maturidade sexual são denominados **letais completos**. Porém, existem alelos que se manifestam mais tardiamente, permitindo a sobrevivência dos indivíduos além da maturidade. Estes são denominados **alelos semiletais**.



Fotografia das mãos de uma pessoa com braquidactilismo.

Cedoc

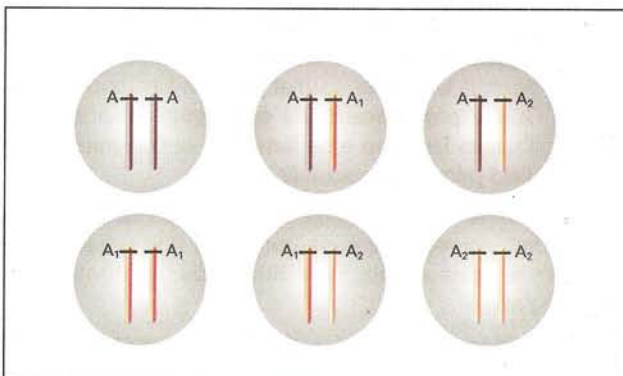
10.3. Alelos múltiplos ou polialelia

Quando há mais de dois alelos para cada locus, fala-se em **alelos múltiplos** ou **polialelia**.

Apesar de existirem vários alelos para um mesmo locus, nas células de cada indivíduo diplóide ocorrem apenas dois deles, pois são apenas dois os cromossomos homólogos.

Suponhamos três alelos: **A**, **A₁** e **A₂**.

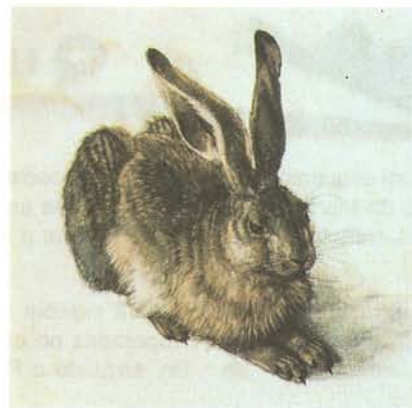
São seis as combinações possíveis entre eles. Cada uma delas pode manifestar um fenótipo diferente, dependendo de haver ou não dominância de um alelo sobre outro.



Para exemplificar, vamos apresentar a herança da cor do pêlo em coelhos.

Existem quatro fenótipos para esse caráter:

- **aguti** ou **selvagem**:



Archivo Iconográfico, S.A./Corbis

- **chinchila**:



Stock Photos

• **himalaio:**



Stock Photos

• **albino:**



Steve Jay Crise/Corbis

Verificou-se que esses quatro fenótipos são determinados por quatro alelos, com a seguinte re-

lação de dominância entre si:

- o alelo c^+ (o símbolo + é geralmente usado para o fenótipo selvagem) é dominante sobre todos os demais; uma vez presente no genótipo, o fenótipo será aguti;
- o alelo c^{ch} é dominante sobre os alelos c^h e c e determina o fenótipo chinchila;
- o alelo c^h é dominante apenas sobre o alelo c e determina o fenótipo himalaio;
- o alelo c é recessivo em relação a todos os demais e determina o fenótipo albino.

A ordem de dominância entre esses alelos pode ser escrita do seguinte modo:

$$c^+ > c^{ch} > c^h > c$$

As possíveis combinações entre eles e os fenótipos resultantes são as seguintes:

Genótipos	Fenótipos
c^+c^+ ; c^+c^{ch} ; c^+c^h ; c^+c	Selvagem ou aguti
$c^{ch}c^{ch}$; $c^{ch}c^h$; $c^{ch}c$	Chinchila
c^hc^h ; c^hc	Himalaio
cc	Albino



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Monte um esquema para explicar os procedimentos experimentais de Mendel considerando em sua análise apenas um dos caracteres da planta de ervilha: a forma das vagens.

2. Monte um quadro de Punnett para explicar as proporções genótípicas e fenotípicas esperadas no cruzamento entre dois heterozigotos, $Bb \times Bb$, segundo a Primeira lei de Mendel.

3. Relacione as principais condições para se aplicar a teoria das probabilidades.

4. Conceitue espaço amostral.

5. Defina a probabilidade de ocorrer um evento e calcule a probabilidade de sair o rei de copas em um baralho de 52 cartas.

6. Diferencie resultado esperado de resultado obtido.

7. Um casal com quatro filhos terá obrigatoriamente um deles com fenótipo recessivo? Por quê?

8. Defina a probabilidade de ocorrer um ou outro evento e calcule a probabilidade de sair o rei de copas ou o rei de ouros num baralho de 52 cartas.

9. Defina a probabilidade de ocorrer um e outro evento e calcule a probabilidade de sair o rei de copas em um baralho de 52 cartas e o rei de ouros em outro baralho de 52 cartas.

10. Diferencie cruzamento-teste de retrocruzamento.

11. Explique o que é probabilidade condicional.

12. A fibrose cística é uma anomalia caracterizada por alterações nas secreções principalmente dos brônquios, podendo levar o indivíduo à morte. É decorrente da ação de alelo recessivo, sendo que o alelo dominante determina fenótipo normal. Um casal normal teve um filho com fibrose cística. Qual a probabilidade de esse casal vir a ter uma criança do sexo feminino e de fenótipo normal, mas portadora do alelo para essa anomalia?

Para responder a esse problema aplicando os conceitos aprendidos, escreva todos os genótipos das pessoas envolvidas e seus respectivos fenótipos, e monte uma genealogia.

13. Considerando os dados do problema anterior e que esse casal teve outro descendente, agora do sexo masculino, e que ainda na maternidade o casal gostaria de saber qual a probabilidade de essa criança vir a ter fibrose cística, calcule essa probabilidade.

14. Relacione em quais casos se verificam alterações nas proporções fenotípicas esperadas no monohibridismo de Mendel.

15. Explique por que esses casos não invalidam a Primeira lei de Mendel.

16. Conceitue ausência de dominância. Dê exemplos.

17. Conceitue alelo letal e dê exemplos.

18. Caracterize alelos múltiplos e dê exemplos.

19. A acondroplasia é uma forma de nanismo causada por alelo dominante. Dos casos de acondroplasia conhecidos, apenas cerca de 10% ocorrem em famílias em que um dos genitores apresenta a doença. Nos 90% restantes dos casos, os casais são normais e possuem filhos com acondroplasia. Como o alelo é dominante, esse resultado difere do esperado. O que se sabe hoje é que esses 90% resultam de mutações novas. A frequência desses casos é de cerca de 1 em 12 000 nascimentos. Esses dados nos permitem calcular a frequência de mutação do gene para acondroplasia: 1 em 24 000, pois cada pessoa tem dois alelos para esse locus, e basta que apenas um deles sofra mutação para surgir o efeito. Constatou-se também que a incidência dessa mutação aumenta com a idade paterna e não com a idade materna, como acontece em outros casos de anomalia. Os acondroplásticos heterozigóticos vivem, mas os homozigóticos morrem na infância.

Um casal recorreu ao serviço de aconselhamento genético, pois ambos apresentavam acondroplasia. Eles queriam saber a chance de terem uma criança normal. Qual foi a resposta do geneticista, sem considerar a possibilidade de mutação?

20. Uma das doenças determinadas por alelo dominante e que é muito frequente na espécie humana é a neurofibromatose. Sua incidência na população é de cerca de 1 para 4 000 indivíduos. Essa doença caracteriza-se por manchas de hipo ou hiperpigmentação na pele, associadas a tumores benignos subcutâneos, que podem se tornar malignos. O gene pode se expressar de forma variável, dependendo do indivíduo: em alguns casos a doença é branda, em outros pode ser muito grave. Essa expressão diferenciada de um gene é o que se chama expressividade gênica. Outro dado importante para os geneticistas é a penetrância. No

caso da acondroplasia e da neurofibromatose, a penetrância do gene é praticamente completa. Isso significa que, uma vez presente o gene ou o par de alelos (nos casos de herança recessiva), o fenótipo aparece, seja em que expressividade for.

Cerca de 50% dos afetados por neurofibromatose resultam de mutações novas. Isso indica que pais normais podem ter filhos afetados, caso ocorra mutação nesse locus gênico. A taxa de mutação nesse locus é alta: cerca de 1 : 10 000. Qual a probabilidade de um casal de heterozigotos ter uma criança normal, não se considerando a possibilidade de mutação?

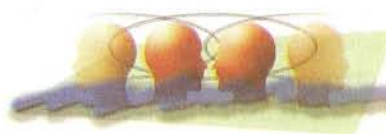
21. Outra doença comum na população humana é a hipercolesterolemia familiar, condicionada por alelo dominante, que determina deposição de colesterol nas artérias e aparecimento precoce de doença das coronárias (vasos que irrigam o coração). A doença é relativamente benigna nos heterozigóticos, que correspondem a cerca de 1 em cada 500 indivíduos. Apesar disso, exige cuidados com a alimentação, atividade física orientada e acompanhamento médico. Os homozigóticos ocorrem com frequência de 1 : 1 000 000 e eles geralmente morrem na infância.

Para um casal de heterozigóticos, qual é a probabilidade de terem um descendente normal e do sexo masculino?

22. A talassemia é uma doença hereditária que resulta em anemia. Pessoas afetadas podem ser homo ($T^M T^M$) ou heterozigóticas ($T^M T^N$); os homozigóticos apresentam a forma mais grave da doença, a talassemia *major*, e geralmente morrem antes da maturidade sexual. Os heterozigóticos sobrevivem, mas apresentam anemia, falando-se em talassemia *minor*. Os indivíduos homozigóticos ($T^N T^N$) são normais. Qual é a chance de um casal, em que ambos apresentam talassemia minor, vir a ter uma criança do sexo feminino e normal?

23. Considerando os cruzamentos a seguir, em que se analisa a herança da cor do pêlo em coelhos, diga qual é o genótipo da geração parental:

- a) aguti $\times$ himalaio originando em F_1 albinos, agutis e himalaio;
- b) chinchila $\times$ himalaio originando em F_1 apenas chinchilas e himalaio.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Dilemas éticos

Com os avanços obtidos por meio do Projeto Genoma Humano, a grande questão que se coloca é: seremos capazes de lidar com o conhecimento do nosso ser?

Como veremos nos exemplos a seguir, a resposta a essa pergunta não é fácil, mas o assunto é fascinante.

A localização de genes responsáveis por doenças genéticas é fundamental para o diagnóstico diferencial de doenças clinicamente semelhantes, a identificação de portadores com risco de terem filhos afetados, o diagnóstico pré-natal e futuros tratamentos.

Entretanto, do ponto de vista ético, a identificação de portadores de genes deletérios pode ter consequências totalmente diferentes. Isso porque se distinguem basicamente dois grupos:

- os portadores assintomáticos, nos quais o risco de uma doença genética só existe para a prole, como no caso da herança recessiva;
- os portadores sintomáticos ou pré-sintomáticos, nos quais existe risco tanto para a prole quanto para si mesmos, como no caso da herança autossômica dominante.

Doenças dominantes de início tardio

Nesse caso, os portadores, além de manifestarem a patologia, têm risco de 50% de transmitir o gene defeituoso para sua descendência. Nas doenças em que a característica se manifesta desde o nascimento, como a acondroplasia (um tipo de nanismo), o aconselhamento genético é geralmente menos problemático porque o consulente, que enfrenta diariamente as dificuldades relacionadas com sua patologia, pode decidir melhor do que ninguém se quer transmiti-la ou não para sua descendência.

A grande dificuldade reside nas condições em que o início dos sintomas ocorre tardiamente, como na coreia de Huntington (CH) ou na distrofia miotônica de Steinert (DMS).

A questão ética que se coloca é: se seu pai tivesse morrido afetado pela coreia de Huntington, você gostaria de saber se herdou o gene que causa essa condição letal? Ou seja, vale a pena saber de antemão que vamos desenvolver uma doença de manifestação tardia para a qual não existe cura?

Trabalhos realizados no Canadá com indivíduos pertencentes a famílias de afetados mostraram dados interessantes. Filhos de afetados cujo teste de DNA confirmou serem portadores do gene tiveram reações de depressão, angústia e desespero. Após um ano, a maioria tinha aprendido a conviver com essa informação e a valorizar mais o presente. Entretanto, cerca de 10% daqueles que tiveram o teste positivo nunca conseguiram se recuperar emocionalmente.

Todavia, aqueles cujo teste de DNA revelou não serem portadores do gene tiveram, obviamente, reação de alívio, diminuição da depressão e melhora na qualidade de vida. Entretanto, surpreendentemente, algumas dessas pessoas também tiveram dificuldades emocionais em se ajustar à nova realidade, pois já tinham planejado sua vida futura na expectativa da

doença, ou se sentiam “culpadas” por não serem iguais aos irmãos.

Na DMS a situação é um pouco diferente, pois o quadro clínico é muito variável. Indivíduos portadores do gene podem ter como único sinal clínico uma calvície precoce ou catarata em idade avançada, enquanto no outro extremo há indivíduos com quadro grave, de início na infância, que se manifesta como retardo mental e de desenvolvimento, fraqueza e degeneração muscular, fenômeno miotônico (dificuldade em relaxar os músculos quando contraídos, principalmente os das mãos) e esterilidade no sexo masculino. A forma clássica, que é a mais comum, tem início em geral na idade adulta com surgimento de fenômeno miotônico, fraqueza muscular (que pode ser mais ou menos acentuada) e presença ou não de catarata.

Quais seriam os prós e os contras de se testarem crianças assintomáticas, filhas de indivíduos afetados, e saber de antemão se elas são portadoras do gene da DMS? De um lado, os defensores do teste pré-sintomático argumentam que saber precocemente seria importante na escolha da futura profissão, isto é, poderiam ser evitadas as que requerem habilidade manual, pois essa é a primeira a ser comprometida na forma clássica da doença. De outro lado, os argumentos desfavoráveis são os mesmos apresentados para a coreia de Huntington: vale a pena angustiar-se antecipadamente por saber que é portador de uma doença incurável?

Em relação a essa questão, centros de Genética de diferentes países têm posições divergentes. Por exemplo, enquanto nos Estados Unidos a maioria é favorável ao diagnóstico precoce, na Inglaterra a filosofia é de que não se devem testar crianças assintomáticas. Observações recentes do laboratório do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo sugerem que, para a população brasileira, a posição inglesa talvez seja mais adequada. Isso porque recentemente vários jovens adultos, filhos de afetados (portanto com risco de 50% de serem portadores do gene deletério), foram contatados e informados de que já existia um teste de DNA para confirmar se eram ou não portadores do gene. Entretanto, nenhum deles quis se submeter ao teste, o que mostrou que “viver na incerteza” era talvez mais tolerável do que o risco de “ter certeza”. Essas observações apoiam também a filosofia de não testar crianças assintomáticas, pois assim estaríamos negando-lhes o direito de decidir mais tarde se querem ou não saber.

Genes de risco para câncer

Outra questão ética interessante refere-se à detecção precoce de genes relacionados com a maior suscetibilidade ao câncer. Merecem destaque duas formas de câncer relativamente comuns: o câncer de cólon de intestino e o câncer de mama.

Por exemplo, no caso de câncer de cólon de intestino, indivíduos portadores do gene MSH2 têm risco de cerca de 80% de desenvolver a doença. Já aproximadamente 5% das mulheres com câncer de mama são portadoras de um gene alterado (BRCA1) localizado no cromossomo 17. Mulheres portadoras desse gene têm alto risco de desenvolver câncer de mama e de ovário.

Não há dúvida de que a identificação de indivíduos portadores desse gene pode ser muito importante na detecção precoce do câncer, o que é fundamen-

tal para seu tratamento e cura. Entretanto, algumas pessoas poderiam tornar-se extremamente hipocondríacas se soubessem que são portadoras de tais genes. Outras, ao contrário, em vez de tomar medidas preventivas, poderiam ficar depressivas e fugir do controle médico.

Em resumo, os avanços na tecnologia da Biologia molecular têm sido tão rápidos que o número de testes genéticos disponíveis tanto para características normais quanto para patológicas está aumentando dia a dia. Em nível populacional, o uso dessas informações tem de ser amplamente debatido e discutido dos pontos de vista ético, médico, de saúde e social. Em nível pessoal, gostaria de repetir a questão inicial: estaremos preparados para o conhecimento do nosso ser?

Adaptado de artigo publicado na *Revista USP*, nº 24, 1995.

- Com base no que você já leu neste livro e em outras fontes, qual é sua posição sobre os dilemas éticos que envolvem o conhecimento dos genes humanos?
- Você gostaria de saber se é portador de um alelo para uma doença letal de manifestação tardia? O que você faria de posse dessa informação?



TESTES

1. (UFPA) Pessoas de mesmo genótipo para o caráter cor da pele podem adquirir fenótipos diferentes expondo-se mais ou menos às radiações solares. Tal fato exemplifica adequadamente a:

- a) variabilidade das espécies.
- b) interação do genótipo com o meio ambiente.
- c) ação da seleção natural sobre os genes.
- d) ocorrência ao acaso das mutações.
- e) herança dos caracteres adquiridos.

2. (Fuvest-SP) Em uma população de mariposas, 96% dos indivíduos têm cor clara e 4% cor escura. Indivíduos escuros cruzados entre si produzem, na maioria das vezes, descendentes claros e escuros. Já os cruzamentos entre indivíduos claros produzem sempre apenas descendentes de cor clara. Esses resultados sugerem que a cor dessas mariposas é condicionada por:

- a) um par de alelos, sendo o alelo para cor clara dominante sobre o que condiciona cor escura.
- b) um par de alelos, sendo o alelo para cor escura dominante sobre o que condiciona cor clara.

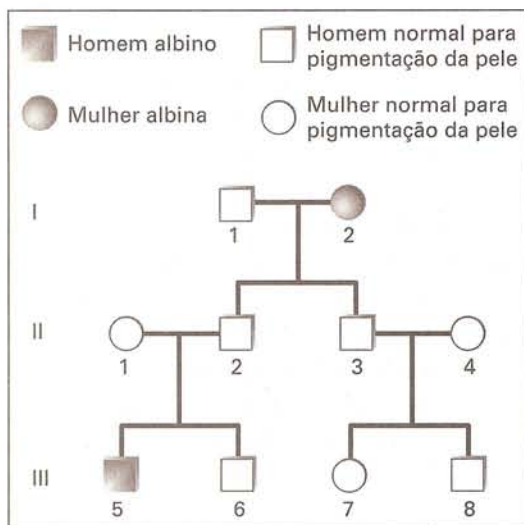
- c) um par de alelos, que não apresentam dominância um sobre o outro.
- d) dois genes ligados com alta taxa de recombinação entre si.
- e) fatores ambientais, como a coloração dos troncos onde elas pousam.

3. (PUC-RS) A fibrose cística é uma doença que decorre de anomalias em várias secreções, cloretos de suor, secreções brônquicas etc. Sabe-se que é determinada por um gene autossômico recessivo.

Com base no texto acima, pode-se deduzir com relação a essa doença que ela:

- a) atinge somente indivíduos do sexo masculino.
- b) encontra-se apenas em indivíduos que sejam heterozigóticos.
- c) atinge somente aqueles que se encontram na fase de envelhecimento.
- d) pode passar de uma geração à outra sem se manifestar.
- e) atinge somente indivíduos do sexo feminino.

4. (UEPA) Analise a seguinte genealogia:



Determinando os genótipos dos indivíduos da segunda geração, a sequência correta será:

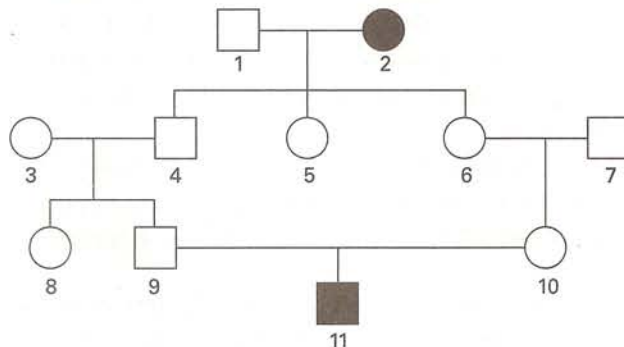
- II — 1 (Aa); II — 2 (aa); II — 3 (AA); II — 4 (Aa).
- II — 1 (Aa); II — 2 (Aa); II — 3 (Aa); II — 4 (A-).
- II — 1 (Aa); II — 2 (Aa); II — 3 (Aa); II — 4 (aa).
- II — 1 (Aa); II — 2 (aa); II — 3 (AA); II — 4 (AA).
- II — 1 (aa); II — 2 (Aa); II — 3 (AA); II — 4 (A-).

5. (Unesp-SP) A talassemia é uma doença hereditária que resulta em anemia. Indivíduos homozigotos T^{MTM} apresentam a forma mais grave, identificada como talassemia maior, e os heterozigotos T^{MTN} apresentam uma forma mais branda, chamada de talassemia menor. Indivíduos homozigotos T^{NTN} são normais. Sabendo-se que todos os indivíduos com talassemia maior morrem antes da maturidade sexual, qual das alternativas a seguir representa a fração de indivíduos adultos, descendentes do cruzamento

de um homem e uma mulher portadores de talassemia menor, que serão anêmicos?

- $\frac{1}{2}$
- $\frac{1}{4}$
- $\frac{1}{3}$
- $\frac{2}{3}$
- $\frac{1}{8}$

6. (PUC-MG) A deficiência da enzima glicogênio sintase hepática é um distúrbio genético que determina a deficiência de glicogênio hepático. Os indivíduos afetados apresentam hiperglicemia depois das refeições e hipoglicemia em outros momentos. Para se estudar esse distúrbio genético em uma família, montou-se o heredograma abaixo.



Com base na análise do heredograma e em seus conhecimentos sobre a regulação da glicemia, indique a alternativa incorreta:

- O caráter só se manifesta em indivíduos homozigotos recessivos.
- O caráter pode ser determinado por genes autossômicos ou ligados ao sexo.
- O indivíduo 1 pode ser portador do alelo que causa o distúrbio.
- O fenótipo sanguíneo normal pode ser obtido com dieta especial.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFPB) Um fruticultor comprou dois lotes de mudas de morango, lote I e lote II, supostamente da mesma variedade. Plantou as mudas em dois terrenos preparados, localizados em regiões distintas. O lote I foi plantado em um terreno montanhoso, de clima frio e úmido. O lote II foi plantado em um terreno litorâneo, quente e de solo mais seco. Os frutos do lote I são sempre doces e os frutos do lote II, sempre ácidos. Considerando que o fenótipo é o resultado da interação entre o genótipo e o meio ambiente, responda: Como, através de um experimento, o fruticultor poderia saber se a diferença de acidez nos frutos ocorreu devido ao fato de não serem os dois lotes de morango da mesma variedade, ao contrário do que se supunha, ou em vista de estarem os dois terrenos situados em regiões diferentes?

2. (PUC-MG) Quando Mendel iniciou seus experimentos com as ervilhas, trabalhou inicialmente com a análise de uma característica por vez, utilizando sempre "linhagens puras". Pergunta-se:

- O que é linhagem pura?
- Como Mendel obtinha as linhagens puras nas ervilhas?

3. (Unesp-SP) A mamona (*Ricinus communis*) produz inflorescências contendo somente flores pistiladas (flores femininas), quando o genótipo é recessivo, e inflorescências mistas (flores femininas e flores masculinas), quando o genótipo é homozigoto dominante ou heterozigoto.

Com base nessas afirmações, que tipos de inflorescências serão produzidas nos descendentes dos seguintes cruzamentos:

- a) $NN \times Nn$?
- b) $Nn \times Nn$?

4. (UFMG) A galactosemia é uma doença genética causada por um gene autossômico recessivo em humanos. Indivíduos galactosêmicos apresentam, entre outras manifestações, a incapacidade de degradar a lactose existente no leite materno. Considerando os símbolos **G** e **g** para representar os alelos dominantes e recessivos, respectivamente, responda:

- a) Qual seria o fenótipo de indivíduos:
 - GG ?
 - Gg ?
 - gg ?
- b) Qual seria o resultado do percentual fenotípico do cruzamento entre um indivíduo galactosêmico e um indivíduo normal, filho de um galactosêmico?

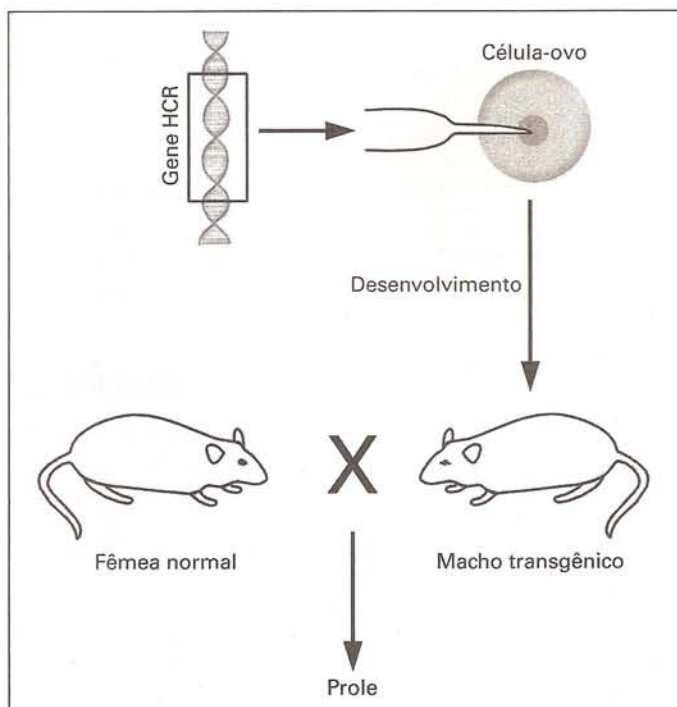
5. (Fuvest-SP) Nos porquinhos-da-índia, a pelagem negra é dominante sobre a pelagem branca. Um criador tem um lote de porquinhos-da-índia negros, com o mesmo genótipo.

O que deve fazer para descobrir se esses animais são homozigotos ou heterozigotos? Justifique sua resposta.

6. (Fuvest-SP) Uma anomalia genética autossômica recessiva é condicionada por uma alteração da sequência do DNA. Um homem portador dessa anomalia apresenta a sequência timina-citosina-timina, enquanto sua mulher, que é normal, apresenta a sequência timina-adenina-timina. A análise do DNA de um filho do casal mostrou que ele é portador tanto da sequência de bases do pai quanto da mãe.

- a) O filho terá a doença? Por quê?
- b) Qual a probabilidade de um outro filho do casal apresentar as duas sequências iguais à da mãe?

7. (UFRJ) Um pesquisador teve sucesso na integração de uma cópia do gene que codifica o hormônio de crescimento de rato (HCR) em um dos cromossomos autossômicos de uma célula-ovo de camundongo. A célula-ovo transgênica se desenvolveu, dando origem a um camundongo macho. Este camundongo transgênico foi cruzado com uma fêmea de camundongo normal, isto é, não portadora do gene HCR.



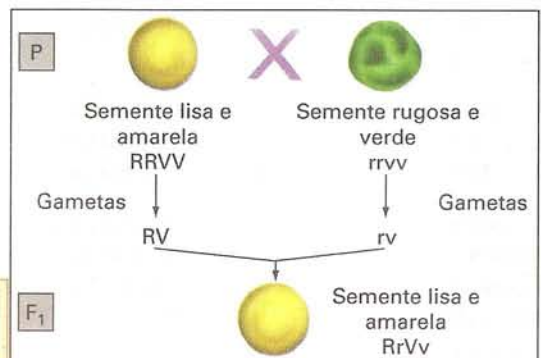
Calcule a proporção esperada da prole destes camundongos que será portadora do gene que codifica o HCR. Justifique sua resposta.

A Segunda lei de Mendel e a herança dos grupos sanguíneos

1. Uma das experimentações de Mendel

Mendel continuou seus trabalhos analisando dois caracteres ao mesmo tempo. Por exemplo: textura e cor da semente. O esquema ao lado resume os resultados de cruzamentos, realizados por Mendel, entre ervilhas lisas e amarelas e ervilhas rugosas e verdes, todas em homozigose para os dois caracteres.

Esquema do resultado obtido no cruzamento entre plantas homozigóticas de ervilha, para forma e cor da semente.



Em F₁, 100% das sementes são lisas e amarelas. Sabendo que existe dominância entre os genes alelos, esse resultado coincide com o que Mendel esperava.

Em seguida, Mendel deixou que as plantas da geração F₁ se autofecundassem, e obteve em F₂ o seguinte resultado:

F₁: Semente lisa e amarela $RrVv$

Gametas femininos: RV, Rv, rV, rv

Gametas masculinos: RV, Rv, rV, rv

	RV	Rv	rV	rv
RV	Lisa e amarela $RRVV$	Lisa e amarela $RRVv$	Lisa e amarela $RrVV$	Lisa e amarela $RrVv$
Rv	Lisa e amarela $RRVv$	Lisa e verde $RRvv$	Lisa e amarela $RrVv$	Lisa e verde $Rrvv$
rV	Lisa e amarela $RrVV$	Lisa e amarela $RrVv$	Rugosa e amarela $rrVV$	Rugosa e amarela $rrVv$
rv	Lisa e amarela $RrVv$	Lisa e verde $Rrvv$	Rugosa e amarela $rrVv$	Rugosa e verde $rrvv$

Esquema dos resultados obtidos na autofecundação de plantas heterozigóticas da geração F₁, para forma e cor da semente.

A proporção fenotípica obtida foi:

- $\frac{9}{16}$ lisas e amarelas;
- $\frac{3}{16}$ lisas e verdes;
- $\frac{3}{16}$ rugosas e amarelas;
- $\frac{1}{16}$ rugosa e verde.

A análise desses resultados mostra que a textura da semente não depende da cor que ela apresenta e vice-versa. Assim, esses dois caracteres transmitem-se independentemente um do outro. É o que estabelece a Segunda lei de Mendel:

SEGUNDA LEI DE MENDEL

Na formação dos gametas, o par de fatores responsável por uma característica separa-se independentemente de outro par de fatores responsável por outra característica.

Poderíamos dizer, hoje, já com novos conceitos, que “os pares de alelos localizados em cromossomos não-homólogos separam-se independentemente na formação dos gametas”.

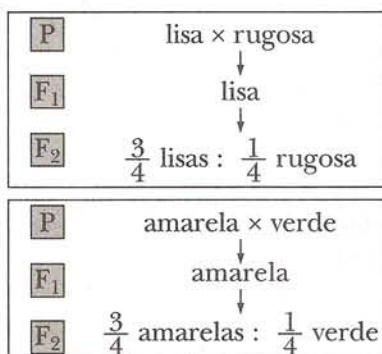
Quando se analisam dois, três ou vários caracteres ao mesmo tempo, fala-se em diíbrido, triíbrido e poliíbrido, respectivamente.

2. Segunda lei e probabilidade

A proporção fenotípica obtida por Mendel em F_2 foi de 9 : 3 : 3 : 1, sendo o número 9 referente à ocorrência de dois fenótipos dominantes na mesma semente, o número 3 à de um fenótipo dominante e um recessivo e o número 1 à de dois fenótipos recessivos.

Como surge essa proporção?

Uma maneira simples de decifrá-la consiste em separar os resultados e analisá-los individualmente em relação a cada um dos caracteres. Ao fazer isso, obtém-se o seguinte:



Como a probabilidade de uma semente ser

verde ou amarela não depende da probabilidade de ela ser lisa ou rugosa, quando quisermos saber a probabilidade de obter uma semente que seja lisa e, ao mesmo tempo, amarela, devemos fazer o seguinte:

$$\begin{array}{c}
 P \text{ (lisa)} \\
 \downarrow \\
 \frac{3}{4}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 P \text{ (amarela)} \\
 \downarrow \\
 \frac{3}{4}
 \end{array}
 = \boxed{\frac{9}{16}}$$

Da mesma forma:

- sementes lisas e verdes:

$$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

- sementes rugosas e amarelas:

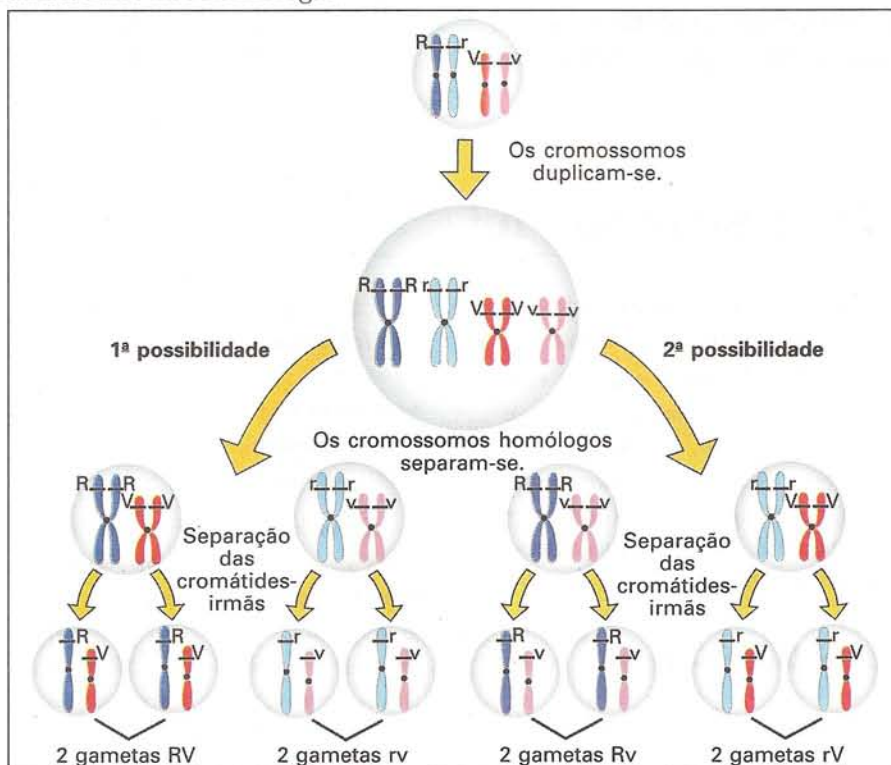
$$\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

- sementes rugosas e verdes:

$$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

3. A relação entre meiose e Segunda lei

O esquema a seguir mostra a meiose em uma célula hipotética que possui dois pares de genes localizados em cromossomos não-homólogos:



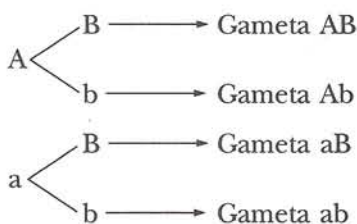
Esquema explicando os dois resultados possíveis da meiose a partir de uma célula heterozigótica. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Essa célula, pelo processo de meiose, produz quatro tipos de gametas, todos em proporções iguais: 25% RV, 25% rv, 25% Rv e 25% rV.

4. Calculando os tipos de gametas de acordo com a Segunda lei

- Quais os tipos de gametas formados por um indivíduo AaBb?

Como esses pares de genes segregam-se independentemente, um gameta tem de ter o gene **A** e o outro o gene **a**; tendo o gene **A**, o outro gene que pode ocorrer nesse gameta é o **B** ou o **b**; tendo o gene **a**, o outro gene pode ser o **B** ou o **b**. Com base nesse raciocínio simples, montam-se as ramificações do seguinte modo:



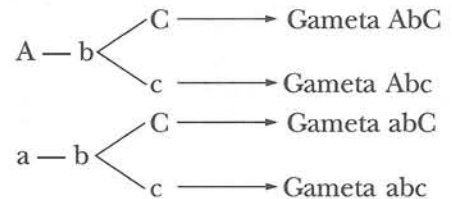
São formados, então, quatro tipos de gametas em iguais proporções:

$$\frac{1}{4} AB : \frac{1}{4} Ab : \frac{1}{4} aB : \frac{1}{4} ab.$$

- Quais os tipos de gametas formados por um indivíduo AabbCc?

Utiliza-se o mesmo raciocínio do problema anterior, lembrando apenas que o par **bb** forma um

só tipo de gameta: o gameta **b**. Assim, as ramificações são:



Formam-se, portanto, quatro tipos de gametas em iguais proporções:

$$\frac{1}{4} AbC : \frac{1}{4} Abc : \frac{1}{4} abC : \frac{1}{4} abc.$$

Quando se deseja saber apenas o número de tipos diferentes de gametas, pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$2^n, \text{ onde } n = \text{número de pares de alelos em heterozigose.}$$

Vamos aplicar essa fórmula aos exemplos dados:

- AaBb —> n° de pares de genes em heterozigose = 2
 $2^n = 2^2 = 4$
- AabbCc —> n° de pares de genes em heterozigose = 2
 $2^n = 2^2 = 4$

5. Aplicando a Segunda lei

Vamos agora aplicar os conhecimentos sobre a Segunda lei, resolvendo o seguinte problema:

Qual a probabilidade de uma mulher com polidactilia, visão normal e albina, heterozigótica para os dois primeiros fenótipos, casada com um homem sem polidactilia, míope e não-albino, heterozigótico para o último fenótipo, ter um filho, não importando o sexo, sem polidactilia, com visão normal e albino, supondo que esses caracteres se transmitam independentemente?

Resolução:

Para resolver esse problema, devemos seguir as seguintes etapas:

- escrever os genótipos dos pais;
- considerar cada caráter separadamente, tratando-os de acordo com a Primeira lei de Mendel;

- escrever as proporções genotípicas e fenotípicas esperadas para cada cruzamento (proporções mendelianas);
- multiplicar as probabilidades (proporções) isoladas dos eventos desejados, a fim de determinar a probabilidade de eles ocorrerem juntos.

Vamos inicialmente montar os genótipos dos pais. Os dados do problema informam diretamente qual fenótipo é dominante ou recessivo, mas esse dado é transmitido de outra maneira. Se o indivíduo tem polidactilia e é heterozigótico, a polidactilia é dominante; se o indivíduo tem visão normal e é heterozigótico, esse fenótipo é dominante sobre o fenótipo míope; se o indivíduo tem pigmentação normal e é heterozigótico, esse fenótipo é dominante sobre o fenótipo albino.

Resumindo:

- Número de dedos
 - $N \rightarrow$ Polidactilia
 - $n \rightarrow$ Normal
- Visão
 - $M \rightarrow$ Normal
 - $m \rightarrow$ Miópe
- Pigmentação da pele
 - $A \rightarrow$ Normal
 - $a \rightarrow$ Albino

Portanto, os genótipos dos pais são:

Mãe: $NnMmaa$
Pai: $nnmmAa$

No diíbrido, no triíbrido ou no poliíbrido (herança independente de dois, três ou mais caracteres, respectivamente), a chance de ocorrerem dois ou mais fenótipos juntos (um fenótipo e outro fenótipo) é fornecida pela multiplicação das probabilidades isoladas de cada evento. Podemos analisar cada característica isoladamente, como na Primeira lei, e posteriormente calcular a probabilidade de cada combinação desejada de eventos.

♀ $NnMmaa \times$ ♂ $nnmmAa$

Analisar cada caráter separadamente

Número de dedos	Visão	Cor da pele						
$Nn \times nn$ Uma maneira de resolver é escrever diretamente as proporções mendelianas esperadas para esse tipo de cruzamento, sem realizar diagramas. Proporções: • Genotípica — $\frac{1}{2} Nn : \frac{1}{2} nn$ • Fenotípica — $\frac{1}{2}$ polidactilia : $\frac{1}{2}$ normal Logo, a probabilidade do evento desejado (normal) é: $P(\text{normal}) = \frac{1}{2}$	$Mm \times mm$ Outro modo é escrever os tipos de gametas produzidos pela mãe e pelo pai e montar um diagrama. Tipos de gametas do pai <table><tr><td></td><td>m</td></tr><tr><td>M</td><td>Mm</td></tr><tr><td>m</td><td>mm</td></tr></table> Tipos de gametas da mãe As proporções obtidas são: • Genotípica — $\frac{1}{2} Mm : \frac{1}{2} mm$ • Fenotípica — $\frac{1}{2}$ normal : $\frac{1}{2}$ míope Logo, a probabilidade do evento desejado (normal) é: $P(\text{normal}) = \frac{1}{2}$.		m	M	Mm	m	mm	$aa \times Aa$ Há ainda outra maneira de resolver, que é determinar os tipos de gametas e as respectivas proporções e calcular diretamente a probabilidade do evento desejado (albino). • Gametas da mãe: todos a • Gametas do pai: $\frac{1}{2} A$ e $\frac{1}{2} a$ • Evento desejado: aa $P(\text{gameta a da mãe}) \times P(\text{gameta a do pai}) =$ $1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ Logo: $P(\text{albino}) = \frac{1}{2}$
	m							
M	Mm							
m	mm							

$$P(\text{normal para número de dedos}) \text{ e } P(\text{normal para visão}) \text{ e } P(\text{albino}) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

6. A herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO

Na espécie humana, existem cerca de vinte sistemas de classificação dos grupos sanguíneos. Vamos analisar apenas os três principais: **ABO**, **Rh** e **MN**.

Inicialmente, analisaremos o sistema ABO, cuja herança é um caso de **polialelia**.

Os alelos envolvidos são **I^A**, **I^B** e **i**. A representação dos alelos por meio da letra **I** deve-se à palavra isoaglutinação, que se refere à aglutinação do sangue ocorrida na transfusão entre indivíduos de mesma espécie com tipos de sangue incompatíveis.

Dependendo do tipo de relação entre os alelos dos pares formados, são obtidos os diferentes tipos de grupos sanguíneos: grupo **A**, grupo **B**, grupo **AB** e grupo **O**.

A seguir, apresentamos os genótipos e respectivos fenótipos para o sistema ABO:

Genótipos					
Fenótipos (grupos sanguíneos)	A	B	AB	O	

O alelo **i** é recessivo em relação aos seus alelos **I^A** e **I^B**. Portanto, um indivíduo do grupo sanguíneo **O** é homozigoto recessivo (**ii**).

Quando os alelos **I^A** e **I^B** estão presentes em um mesmo indivíduo, ambos se manifestam, e o fenótipo apresentado é o grupo sanguíneo **AB**. Trata-se, portanto, de um caso de ausência de dominância.

Os alelos **I^A** e **I^B** propiciam a síntese de antígenos denominados aglutinogênios, que ficam na membrana das hemácias. O alelo **i** não propicia a formação de aglutinogênios.

O alelo **I^A** codifica o aglutinogênio **A**, e o **I^B**, o aglutinogênio **B**.

Nesse sistema de grupos sanguíneos, já existem no plasma anticorpos chamados aglutininas, que

combatem esses antígenos; são as aglutininas **anti-A** e **anti-B**.

Os indivíduos do grupo **A** possuem no plasma aglutinina **anti-B** e os do grupo **B** possuem aglutinina **anti-A**. Os indivíduos do grupo **AB** não possuem aglutininas, mas os do grupo **O** possuem as duas: **anti-A** e **anti-B**.

Tipo sanguíneo	Genótipo	Aglutinogênio (nas hemácias)	Aglutinina (no plasma)
A	I^AI^A ; I^Ai	A	Anti-B
B	I^BI^B ; I^Bi	B	Anti-A
AB	I^AI^B	AB	Nenhuma
O	ii	Nenhum	Anti-A e anti-B

7. A herança do grupo sanguíneo do sistema Rh

Nas hemácias humanas pode ocorrer outro antígeno, conhecido como fator Rh. Atualmente, sabe-se que não se trata de um único fator, mas de um grupo de fatores, razão pela qual se costuma falar em **sistema Rh**. A expressão Rh foi tirada das duas primeiras letras do gênero de macacos no qual esse fator foi inicialmente estudado: *Rhesus*.

As pessoas que possuem esse fator são chamadas **Rh positivo (Rh⁺)** e as que não o possuem são chamadas **Rh negativo (Rh⁻)**.

De modo simplificado, a herança do sistema Rh pode ser atribuída a um par de alelos com relação de dominância completa. Os indivíduos Rh⁻ são homozigóticos recessivos e os indivíduos Rh⁺ podem

ser heterozigóticos ou, então, homozigóticos dominantes.

No sistema Rh não existe o anticorpo anti-Rh já pronto no plasma. Esse anticorpo só é produzido se uma pessoa Rh⁻ receber sangue de uma pessoa Rh⁺. A presença do fator Rh nas hemácias do doador estimula a produção de anticorpos anti-Rh no indivíduo receptor.

Genótipo	Fenótipo
RR Rr	→ Rh ⁺
rr	→ Rh ⁻

8. Transfusão de sangue

As transfusões de sangue devem ser feitas de preferência entre pessoas do mesmo grupo sanguíneo para que não ocorram problemas de incompatibilidade. É muito importante que o aglutinogênio presente nas hemácias (antígeno) do doador seja compatível com a aglutinina presente no plasma (anticorpo) do receptor. Caso contrário, ocorrerá aglutinação das hemácias recebidas, causando sérios problemas ao receptor.

No caso do sistema ABO, por exemplo, se o doador tiver o aglutinogênio **A**, só poderá doar para um receptor que não tenha aglutinina anti-A no plasma, ou seja, indivíduos dos grupos **A** e **AB**. Se a doação for feita para uma pessoa dos grupos **B** ou **O**, ocorrerá aglutinação, pois, nesses casos, há aglutinina anti-A no plasma do receptor, que provoca a aglutinação das hemácias recebidas.

A ilustração ao lado mostra todas as possibilidades de doação dentro do sistema ABO.

O indivíduo do grupo **O** pode doar para indivíduos dos grupos **O**, **A**, **B** e **AB**, pois seu sangue não possui nenhum dos dois aglutinogênios (**A** e **B**). Os indivíduos do grupo **AB** podem receber dos grupos **A**, **O**, **B** e **AB**, pois não possuem nenhuma das duas aglutininas no plasma.

Em transfusões, além de analisar o sistema ABO devemos analisar também o sistema Rh. Assim, indivíduos Rh⁻ podem doar sangue tanto para os Rh⁻ quanto para os Rh⁺.

Considerando esse sistema, o indivíduo doador universal é do tipo ORh⁻ e o receptor universal é do tipo ABRh⁺.

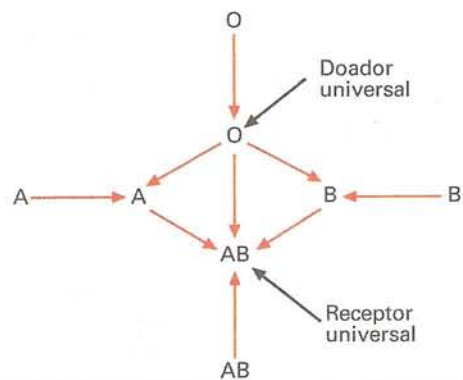


Diagrama das possibilidades de transfusão de sangue considerando o sistema ABO.

A eritroblastose fetal

Uma doença provocada pelo fator Rh é a **eritroblastose fetal** ou **doença hemolítica do recém-nascido**, caracterizada pela destruição das hemácias do feto ou do recém-nascido, podendo levar a criança à morte.

A eritroblastose fetal só ocorre quando mulheres Rh⁻ têm filho Rh⁺, o que pode acontecer quando o pai é Rh⁺.

Durante a gestação ocorre passagem, através da placenta, apenas do plasma da mãe para o sangue do filho e vice-versa. Entretanto, durante o parto, quando a placenta se descola do útero, os capilares deste se rompem, permitindo a passagem de hemácias do feto para o sangue da mãe. Se o filho é Rh⁺, ele possui nas hemácias fator Rh que, ao entrar em contato com o sangue da mãe Rh⁻, estimula a produção do anticorpo anti-Rh, que fica no plasma da mãe.

Aproximadamente 15 a 20 dias após essa passagem, a mãe desenvolve os anticorpos anti-Rh. Na primeira gestação, portanto, não há perigo de ocorrer a eritroblastose, a não ser que a mãe já tenha sido sensibilizada anteriormente por meio de transfusão de sangue Rh⁺.

A partir da segunda gestação, se o filho for Rh⁺ novamente, a mãe já estará sensibilizada, e seu plasma contendo anti-Rh, ao entrar em contato com o sangue do filho, provocará a destruição das hemácias do feto.

A eritroblastose fetal pode ser prevenida injetando-se, na mãe Rh⁻, soro contendo anti-Rh, logo após o nascimento do primeiro filho Rh⁺. Isso provoca a destruição das hemácias que passaram do filho para o sangue da mãe, evitando, assim, a sensibilização da mãe e a conseqüente produção de anticorpos. Essa prática deve ser repetida após cada parto, a fim de diminuir a sensibilização da mãe.

9. A herança do grupo sanguíneo do sistema MN

Landsteiner e Levine descobriram, em 1927, dois outros antígenos no sangue humano, designando-os antígeno **M** e antígeno **N**. Eles verificaram que algumas pessoas apresentavam um desses antígenos, enquanto outras apresentavam os dois juntos. Estabeleceram, então, o **sistema MN**, composto de três fenótipos: grupo **M**, grupo **N** e grupo **MN**.

No sistema MN, os grupos sanguíneos são determinados por um par de alelos co-dominantes.

No plasma dos indivíduos não ocorrem naturalmente os anticorpos para esses antígenos. Assim,

os anticorpos anti-M e anti-N são produzidos apenas quando há estímulo, o que ocorre, por exemplo, em transfusões de sangue.

Genótipos	Fenótipos
L ^M L ^M ou MM	Grupo M
L ^N L ^N ou NN	Grupo N
L ^M L ^N ou MN	Grupo MN

Observação: a letra **L** é empregada em homenagem a Landsteiner e Levine.

10. A análise concomitante da herança dos três sistemas de grupos sanguíneos: um caso de triibridismo

Como exemplo, vamos resolver o seguinte problema:

Dois casais afirmam que determinada criança, achada pela polícia, é seu filho desaparecido. Os resultados dos testes para os grupos sanguíneos foram:

Criança: O, MN, Rh⁻

Casal 1

♀ : O, MN, Rh⁻

♂ : AB, M, Rh⁺

Casal 2

♀ : A, N, Rh⁺

♂ : B, M, Rh⁺

Explique como esses resultados excluem ou não a possibilidade de a criança ser o filho desaparecido do casal 1 ou do casal 2.

Resolução:

Com relação à criança:

- para o sistema ABO: grupo O, genótipo ii ;
- para o sistema MN: grupo MN, genótipo $L^M L^N$;
- para o sistema Rh: grupo Rh⁻, genótipo rr .

O genótipo da criança é:

$iiL^M L^N rr$

Casal 1:

Fenótipo: ♀ O MN Rh⁻ × ♂ AB M Rh⁺
 Genótipo: ♀ ii $L^M L^N$ rr ♂ $I^A I^B$ $L^M L^M$ R_+

Com relação ao sistema ABO:

♀ ii × ♂ $I^A I^B$
 ↓
 50% $I^A i$ → Grupo A
 50% $I^B i$ → Grupo B

Esse casal não pode ter filho de sangue O pois, apesar de a mãe ser O, o pai é AB.

Com relação aos outros tipos de grupo sanguíneo, esses pais poderiam ter filho MN e Rh⁻, mas como, em relação ao sistema ABO, eles não podem ter um filho O, a criança encontrada pela polícia não é filha do casal.

Casal 2:

Fenótipo: ♀ A N Rh⁺ × ♂ B M Rh⁺
 Genótipo: ♀ I^A $L^N L^N$ R_+ ♂ I^B $L^M L^M$ R_+

Com relação ao sistema ABO:

♀ I^A × ♂ I^B

podem ter filho O se a mulher for $I^A i$ e o homem for $I^B i$.

Com relação ao sistema MN:

♀ $L^N L^N$ × ♂ $L^M L^M$

só podem ter filho $L^M L^N$. Quanto a esse sistema, o filho poderia ser deles.

Com relação ao sistema Rh:

♀ R_+ × ♂ R_+

podem ter filho Rh⁻ se forem heterozigotos Rr.

Conclusão: a análise dos grupos sanguíneos permite-nos concluir apenas que a criança não pode ser o filho do casal 1; com relação ao casal 2, não se pode afirmar com certeza se a criança é ou não seu filho. Pode-se, apenas, dizer que a descendência é possível.

Atualmente, os testes de paternidade são feitos com base no DNA e serão discutidos no capítulo 35.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Esquematize e explique uma experimentação de acordo com os procedimentos que Mendel adotou para chegar às conclusões que hoje são conhecidas como Segunda lei de Mendel. Para isso, considere os seguintes caracteres da ervilha, mesma planta utilizada por Mendel: formato da vagem, que pode ser lisa (dominante) ou ondulada (recessiva), e cor da vagem, que pode ser verde (dominante) ou amarela (recessiva).

2. Com base na teoria das probabilidades, calcule as proporções fenotípicas esperadas na geração F₂ de Mendel usando os resultados que você descreveu na questão anterior.

3. Vamos agora fazer a aplicação da Segunda lei na herança de alguns caracteres da espécie humana:

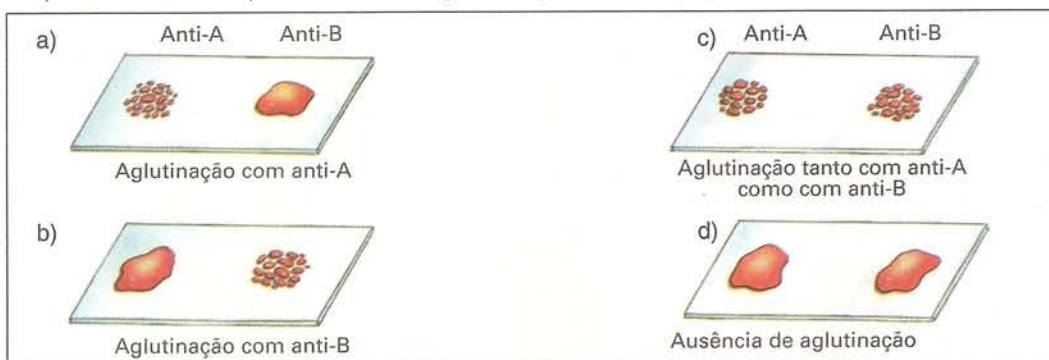
a) Algumas pessoas possuem uma projeção em forma de V do cabelo na testa. Essa projeção chama-se bico-de-úva. Esse caráter é determinado por alelo dominante. O alelo recessivo determina forma reta do cabelo na testa. Outra condição na espécie humana é a miopia. Esse fenótipo é determinado por gene recessivo. Assim, os míopes são mm e os não-míopes podem ser MM ou Mm. Esses dois caracteres transmitem-se independentemente.

Um casal de míopes, com bico-de-viúva e sabidamente heterozigóticos para o caráter, deseja saber qual a probabilidade de ter uma criança com fenótipos iguais aos deles com relação a essas características.

- b) Cabelos crespos são um fenótipo determinado por alelo dominante, e cabelos lisos, por alelo recessivo; a habilidade de escrever com a mão direita (destro) é determinada por alelo dominante sobre o alelo que determina a habilidade de escrever com a mão esquerda (canhoto).

Um casal destro, em que a mulher tem cabelos lisos e o homem tem cabelos crespos e é filho de mãe com cabelos lisos, teve um filho canhoto e de cabelos lisos. Escreva quais são os genótipos de todas as pessoas citadas neste texto.

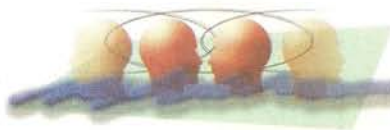
4. Para saber o grupo sanguíneo a que um indivíduo pertence, recorre-se a laboratórios especializados, onde os seguintes procedimentos são adotados com toda a segurança: coloca-se em uma lâmina uma gota de soro que possui anti-A e, ao lado, uma gota de soro que possui anti-B. Em seguida, acrescenta-se uma gota de sangue em cada gota de soro. Os resultados possíveis estão esquematizados a seguir. Interprete-os e explique-os.



5. Na herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO comentou-se que nesses grupos já existem prontos no sangue os anticorpos anti-A e anti-B. Vamos ver melhor como isso acontece. Logo após o nascimento de uma criança, surgem vários antígenos no sangue, que resultam da exposição do organismo ao meio e a antígenos produzidos pelas bactérias da flora intestinal. Entre esses antígenos produzidos pelas bactérias existe um muito semelhante ao aglutinogênio A e outro muito semelhante ao aglutinogênio B. No sangue da criança, esses antígenos bacterianos vão desencadear a produção de anticorpos. Se a criança for do grupo A, terá nas suas hemácias o aglutinogênio A, que é semelhante ao antígeno A da bactéria e, assim, seu corpo não estranhará a presença desse antígeno e não produzirá anticorpos contra ele. Em contrapartida, o corpo dessa criança estranhará a presença do antígeno B da bactéria e produzirá anticorpo anti-B, que combaterá o antígeno B. Assim,

essa criança do grupo A possui aglutinogênios A em suas hemácias e anticorpos anti-B em seu plasma. Com base nesse texto, explique o que acontece com um recém-nascido do grupo B, outro do grupo O e outro do grupo AB. Compare sua explicação com o que foi dado no corpo do capítulo.

6. A eritroblastose fetal descrita no capítulo ocorre com frequência menor do que o esperado. A principal causa dessa menor frequência é a existência de incompatibilidade ABO concomitante à incompatibilidade Rh entre mãe e feto. Por exemplo: mãe ORh^- e filho ARh^+ . As hemácias do filho possuem antígeno A e antígeno Rh. Ao passarem para o sangue da mãe, no parto, serão destruídas pelos anticorpos anti-A presentes no plasma da mãe antes mesmo de serem capazes de induzir a produção de anticorpos anti-Rh. Com base nessa informação, explique o que pode acontecer no caso de mãe ARh^- e filho BRh^+ .



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Falso O — o efeito Bombaim

Pais do grupo sanguíneo O tiveram um filho A. Isso é possível? A resposta mais lógica é não. Essa resposta, entretanto, nem sempre pode ser absoluta. Deve-se investigar se os pais são realmente do grupo O, ou se pertencem a uma pequena porcentagem da população (menos de 1%) que é de falsos O. Estes podem ter genótipos $I^A I^A$, $I^A i$, $I^B I^B$, $I^B i$ ou $I^A I^B$, mas são sempre identificados como do grupo O através das técnicas tradicionais de determinação dos grupos sanguíneos. Para esclarecer essa questão, devem ser realizados testes especiais, porém simples, que permitem verificar se os indivíduos são realmente do grupo O ou se são falsos O. A incidência de falsos O é maior na Índia, especialmente em Bombaim, falando-se, por isso, em efeito Bombaim.

A explicação para esse fenômeno é simples. Existe no cromossomo um locus gênico denominado locus H, onde estão os alelos **H** ou **h**, que apresentam relação de dominância entre si. Os indivíduos **HH** ou **Hh** sintetizam uma enzima que transforma uma substância precursora em antígeno H. É esse antígeno que é transformado em antígeno A ou B, respectivamente pelas enzimas sintetizadas sob o comando dos alelos I^A e I^B . É a presença desses antígenos A e B que se investiga nos testes tradicionais de determinação dos grupos sanguíneos. Desse modo, nos indivíduos **HH** ou **Hh** esses testes fornecem resultados corretos (quadro 1).

Os indivíduos **hh**, no entanto, sintetizam uma enzima inativa que não transforma a substância precursora em antígeno H. Na ausência desse antígeno, as enzimas produzidas sob o comando dos alelos I^A e I^B não são operantes, pois não existe o substrato (antígeno H) sobre o qual atuam. Desse modo, não são formados os antígenos A ou B, mesmo que a pessoa tenha o gene I^A e/ou o I^B . Essas pessoas são os falsos O (quadro 2).

O teste para saber se o indivíduo é um falso O é feito em laboratórios por técnicos especializados e consiste em adicionar o anticorpo anti-H a uma gota de sangue colocada em uma lâmina. Se houver aglutinação, o indivíduo é um O verdadeiro; se não houver, é um falso O. Neste último caso, não é possível saber qual o grupo sanguíneo real do indivíduo.

Os locus H e do sistema ABO situam-se em cromossomos distintos. Desse modo, esses genes segregam-se independentemente.

Quadro 1

Locus H	Locus do sistema ABO	Fenótipo
genótipos HH ou Hh ↓ enzima H	genótipos $I^A I^A$; $I^A i$ ↓ enzima A ↓ antígeno A	grupo A
antígeno H →	genótipos $I^B I^B$; $I^B i$ ↓ enzima B ↓ antígeno B	grupo B
substância precursora →	genótipos $I^A I^B$ ↓ enzima A enzima B ↓ ↓ antígeno A antígeno B	grupo AB
	genótipos ii ↓ não sintetizam enzimas A ou B	grupo O
	antígeno H	

Quadro 2

Locus H	Locus do sistema ABO	Fenótipo
genótipo hh ↓ enzima inativa ↓ substância precursora	genótipos $I^A I^A$; $I^A i$ $I^B I^B$; $I^B i$ $I^A I^B$ ↓ ↓ ↓ enzima A enzima B enzima A e B ↓ ↓ ↓ inoperantes devido à ausência do substrato sobre o qual atuam	falso O
substância precursora		

- Pergunte a seus colegas de classe a que grupo sanguíneo do sistema ABO cada um deles pertence. Calcule a porcentagem de indivíduos dos grupos **O**, **A**, **B** e **AB**. O resultado obtido corrobora a frase “os fenótipos provenientes de alelos dominantes são sempre os mais frequentes nas populações”?
- Como você faria para diferenciar um **falso O** de um **O verdadeiro**?



TESTES

1. (UFPB) Um indivíduo heterozigoto para dois pares de genes autossômicos, que apresentam segregação independente, casa-se com uma mulher homozigota recessiva para esses mesmos pares de genes. A probabilidade de nascer um filho genotipicamente igual ao pai, com relação ao par de genes considerado, é:

- a) $\frac{1}{2}$.
b) $\frac{1}{4}$.
c) $\frac{1}{8}$.
d) $\frac{1}{12}$.
e) $\frac{1}{16}$.

2. (UFAL) Em determinada raça animal, a cor preta é determinada pelo alelo dominante **M** e a marrom pelo alelo **m**; o alelo **B** condiciona padrão uniforme e o **b**, presença de manchas brancas. Esses dois pares de alelos autossômicos segregam-se independentemente. A partir do cruzamento **Mmbb** x **mmBb**, a probabilidade de nascer um filhote marrom com manchas é:

- a) $\frac{1}{16}$.
b) $\frac{3}{16}$.
c) $\frac{1}{4}$.
d) $\frac{1}{2}$.
e) $\frac{3}{4}$.

3. (UEL-PR) Considere quatro pares de genes que se segregam de maneira independente. Nessas condições, um indivíduo que apresente o genótipo **AaBBCcDD** produzirá gametas **ABCD** com a frequência de:

- a) 75%.
b) 50%.
c) 25%.
d) 12%.
e) 6,25%.

4. (UFRS) Indivíduos com os genótipos **AaBb**, **AaBB**, **AaBbCc**, **AaBBcc**, **AaBbcc** podem formar, respectivamente, quantos tipos de gametas diferentes?

- a) 4 — 4 — 8 — 8 — 8
b) 4 — 2 — 8 — 4 — 4
c) 2 — 4 — 16 — 8 — 8
d) 4 — 2 — 8 — 2 — 4
e) 2 — 4 — 16 — 4 — 8

5. (PUC-MG) Em um hospital nasceram 3 crianças (Maria, José e Carlos), que foram misturadas no berçário. As crianças e as famílias: Palmeira, Furquim e Madureira tiveram

seus sangues tipados para o sistema ABO. Os dados encontram-se no quadro abaixo:

Família		Tipo de sangue	Crianças	
Palmeira	Pai	Grupo A	Maria	Grupo O
	Mãe	Grupo B	José	Grupo A
Furquim	Pai	Grupo O	Carlos	Grupo AB
	Mãe	Grupo A		
Madureira	Pai	Grupo AB		
	Mãe	Grupo A		

Após análise, o médico fez cinco afirmações. Em qual delas ele cometeu um engano?

- a) Maria só pode pertencer à família Furquim.
b) Carlos não pode pertencer à família Furquim.
c) José pode pertencer às famílias Furquim, Palmeira e Madureira.
d) Os dados não permitem determinar, com certeza, a paternidade das três crianças.
e) Carlos pode pertencer à família Palmeira ou Madureira.

6. (UFSC) A herança dos tipos sanguíneos do sistema ABO constitui um exemplo de alelos múltiplos (polialelia) na espécie humana.

Com relação ao sistema ABO é **correto** afirmar que:

- 01) o tipo **O** é muito freqüente e, por este motivo, o alelo responsável por sua expressão é dominante sobre os demais.
02) os indivíduos classificam-se em um dos quatro genótipos possíveis: grupo **A**, grupo **B**, grupo **AB** e grupo **O**.
04) existem três alelos: o **I^A**, o **I^B** e o **i**.
08) os alelos **I^A** e **I^B** são co-dominantes.
16) se um indivíduo do grupo **A** for heterozigoto, ele produzirá gametas portadores de **I^A** ou de **i**.
32) os indivíduos de tipo sanguíneo **O** possuem aglutinogênios em suas hemácias, porém não possuem aglutininas no plasma.
64) em alguns cruzamentos, entre indivíduos do grupo **A** com indivíduos do grupo **B**, é possível nascerem indivíduos do grupo **O**.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

7. (UFCE) Na herança do sistema sanguíneo ABO há três alelos autossômicos principais: **I^A** (para sangue do tipo **A**), **I^B** (para sangue do tipo **B**) e **i** (para sangue do tipo **O**). Sabe-se, ainda, que **I^A** e **I^B** são co-dominantes, ambos dominando sobre **i**. Uma mulher do tipo **A**, casada com um homem do tipo **B**, teve uma filha do tipo **O**. O homem não quis reconhecer a paternidade alegando infidelidade por parte da mulher. Como na época em que o fato ocorreu não havia o "exame do DNA", o juiz recorreu a um geneticista que lhe apresentou um parecer sobre o caso.

Indique a alternativa que contém a conclusão correta do geneticista.

- O homem tem razão, pois, por se tratar de um caso de herança ligada ao sexo, a filha dos dois teria que ser, obrigatoriamente, do tipo **A**.
- O homem tem razão, pois, pais com tipos **A** e **B**, quaisquer que sejam seus genótipos, jamais poderiam ter filhos ou filhas do tipo **O**.
- O homem não tem razão, pois, pais com tipos **A** e **B**, dependendo de seus genótipos, podem ter filhos ou filhas com qualquer um dos tipos sanguíneos (**A**, **B**, **AB** e **O**).
- O homem não tem razão, pois, por se tratar de herança autossômica, filhos e filhas teriam que ser, obrigatoriamente, do tipo **O**.
- O homem tem razão, pois, pais com tipos **A** e **B** só podem ter filhos ou filhas do tipo **AB**, visto que I^A e I^B são co-dominantes.

8. (UFGO) É necessário o conhecimento do tipo sanguíneo, em caso de transfusão. Em relação ao sistema ABO, indique a(s) proposição(ões) correta(s):

- Indivíduos do grupo sanguíneo **O** podem doar sangue para pessoas do seu próprio tipo sanguíneo e para os demais.
- Indivíduos do grupo **AB** podem receber sangue de qualquer tipo.
- Indivíduos portadores de sangue do tipo **A** possuem aglutinogênios **A**.
- Indivíduos do grupo **B** possuem aglutinina anti-**A**.

9. (UFSCar-SP) Em relação ao sistema sanguíneo ABO, um garoto, ao se submeter ao exame sorológico, revelou ausência de aglutininas. Seus pais apresentaram grupos

sanguíneos diferentes e cada um apresentou apenas uma aglutinina. Os prováveis genótipos dos pais do menino são:

- $I^B i$ — ii .
- $I^A i$ — ii .
- $I^A I^B$ — $I^A i$.
- $I^A I^B$ — $I^A I^A$.
- $I^A i$ — $I^B i$.

10. (UFU-MG) A eritroblastose fetal é uma doença caracterizada pela destruição de hemácias fetais por anticorpos imunes produzidos pela mãe. Uma mulher dos grupos sanguíneos **O** e **Rh** negativo, que nunca recebeu transfusão sanguínea e nem teve filhos ou abortos anteriormente, casa-se com um homem **AB**, **Rh** positivo, e tem um filho **A**, **Rh** positivo.

Chamando-se a atenção para o fato de existir uma dupla incompatibilidade entre o sangue da mãe e o sangue do primeiro filho, classifique as afirmações abaixo em verdadeiras (V) ou falsas (F):

- O primeiro filho deste casal pode apresentar eritroblastose fetal, devido à presença de aglutininas naturais anti-**A** presentes no sangue da mãe.
- Mulheres **Rh** negativo podem produzir anticorpos anti-**Rh** se gerarem filhos **Rh** positivo. Assim, um segundo filho deste casal certamente apresentará eritroblastose fetal.
- Hemácias do primeiro filho que passarem para a circulação sanguínea da mãe serão destruídas precocemente, impedindo a sensibilização materna.
- É possível que este casal tenha vários filhos, todos normais.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFRN) Considerando a 2ª Lei de Mendel e o cruzamento entre os indivíduos que apresentam os genótipos **AaBb** x **AaBb**:

- determine quantos e quais são os gametas que poderão ser formados nos indivíduos **AaBb**.
- demonstre a proporção genotípica desse cruzamento.

2. (Unifor-CE) Em *Drosophila melanogaster*, asa reduzida é condicionada por um gene autossômico recessivo e asa normal, pelo seu alelo dominante; corpo escuro é devido a um gene autossômico recessivo e corpo claro, ao seu alelo dominante. Os pares de genes que condicionam esses caracteres têm segregação independente. O cruzamento de fêmeas de asa normal e corpo claro com machos de asa reduzida e corpo escuro originou 380 descendentes, alguns dos quais com asa reduzida e corpo escuro. Qual é o número esperado de moscas com essas características nessa descendência?

3. (UFMT) Leia as afirmações abaixo:

“Os fatores para uma dada característica ocorrem aos pares no indivíduo e se segregam na formação dos gametas, os quais apresentam apenas um fator, sendo sempre puros.”

“Se dois pares de genes se localizam em pares diferentes de cromossomos homólogos, então eles segregam-se independentemente.”

Estes são os enunciados da Primeira e Segunda leis de Mendel. Comente-as, utilizando os conhecimentos sobre a meiose para explicá-las.

4. (UFRJ) A laranja-da-baía surgiu em 1810 e, por não possuir sementes, tem sido propagada assexuadamente através de mudas e enxertia. Por ser uma variedade triplóide ($3n$) de laranja, sua meiose é anormal, não produzindo gametas viáveis. Atualmente, milhões de pés de laranja-da-baía estão espalhados em plantações no Brasil e nos Estados Unidos. Sabe-se que a variabilidade genética de uma população depende dos seguintes fatores:

- 1) permutação cromossômica ou *crossing-over* (troca de fragmentos entre cromossomos de um mesmo par de homólogos);
- 2) mutação (modificação da sequência de nucleotídeos de uma molécula de ADN);
- 3) segregação independente (recombinação aleatória de cromossomos dos diferentes pares de homólogos).

Identifique qual(is) destes fatores pode(m) contribuir para a variabilidade genética da laranja-da-baía. Justifique sua resposta.

5. (EEM-SP) O hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo precisa de sangue para que possa continuar a realização de cerca de 50 cirurgias por dia (...) Doadores, principalmente de sangue do tipo O negativo e O positivo, podem contribuir (...). (Jornal *Folha de S. Paulo*, 13-06-2002)

- a) Por que o Hospital solicita em especial esses dois tipos sanguíneos?
- b) Qual a importância de se conhecer, em uma transfusão, as proteínas presentes no plasma do receptor e nas hemácias do doador?
- c) Um indivíduo com sangue do tipo A pode receber sangue de quais tipos do sistema ABO?

Pleiotropia, interação gênica e herança quantitativa

1. Introdução

Nos capítulos anteriores, estudamos casos em que cada caráter era determinado por um par de alelos. Isso, entretanto, nem sempre acontece.

Um mesmo par de alelos, sob as mesmas condições ambientais, pode ser responsável pela determinação de dois ou mais caracteres. Quando isso ocorre, falamos em **pleiotropia**.

Existem casos em que, para a determinação de

um único caráter, vários pares de genes interagem. Esses casos recebem o nome de **interação gênica**.

- **Pleiotropia:**

1 par de alelos $\xrightarrow{\text{determina}}$ vários caracteres

- **Interação gênica:**

Vários genes $\xrightarrow{\text{determinam}}$ 1 caráter

2. Pleiotropia

A pleiotropia é um processo muito freqüente, que ocorre na maioria dos casos de herança genética.

Um exemplo de ação pleiotrópica é o caso dos genes letais nos animais, que acabam afetando vários caracteres ao mesmo tempo.

Outro exemplo que se pode citar, agora para plantas, são duas variedades de cebolas: as avermelhadas e as brancas. Notou-se que as cebolas aver-

melhadas são resistentes ao ataque de determinada espécie de fungo parasita, ao passo que as brancas não são. Observou-se também que um único gene recessivo era, em condição homozigótica, responsável pela manifestação desses dois caracteres: cor vermelha e produção de substâncias que impedem a fixação do fungo parasita, configurando um caso de pleiotropia.

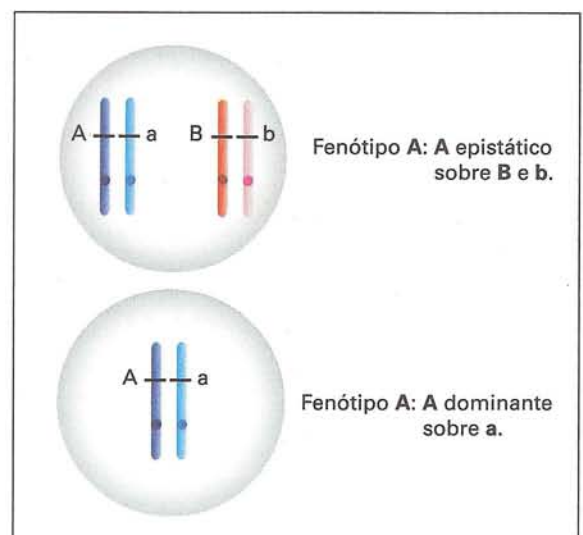
3. Interação gênica

Existem vários casos de interação gênica que podem ser agrupados em duas categorias: **interações epistáticas** e **interações não-epistáticas**.

3.1. Interações epistáticas

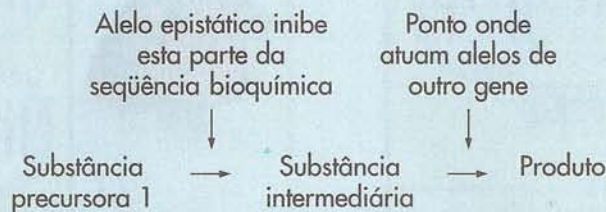
O fenômeno da epistasia ocorre quando um gene “inibe” a ação de outro que não é seu alelo e está localizado em cromossomo não-homólogo. O gene que “inibe” é chamado **epistático** e o que é “inibido” é chamado **hipostático**. A epistasia é, portanto, diferente de dominância; esta ocorre entre genes alelos, e a epistasia entre genes não-alelos.

A explicação do fenômeno da epistasia envolve a ação conjunta de dois pares de genes para uma característica. Dependendo de as enzimas produzidas pelos genes serem ativas ou inativas, verificam-se as diferentes relações epistáticas.



Como atuam em termos bioquímicos os alelos epistáticos

Em geral, os alelos epistáticos atuam antes dos genes que eles “cancelam” na seqüência bioquímica. Assim, se em uma seqüência existirem dois genes atuando, cada um com dois alelos, os epistáticos são aqueles que vão comandar se vai haver ou não o substrato sobre o qual atuará a enzima sintetizada pelos alelos que entram a seguir.



Desse modo, se a substância intermediária não se formar, não haverá substrato para que a enzima determinada pelo alelo do outro gene possa agir, e o produto final não se formará.

Vamos, por simplificação, utilizar o termo “inibir”, entre aspas, quando nos referirmos ao gene epistático.

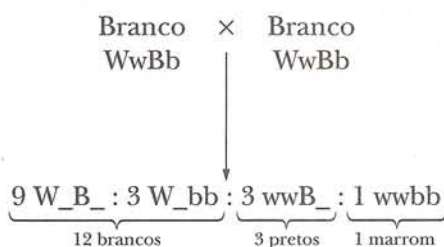
Existem vários tipos de interação epistática, mas vamos considerar apenas dois deles: a epistasia dominante e a epistasia recessiva duplicada (ou genes complementares).

Epistasia dominante

A **epistasia dominante** ocorre quando o alelo dominante de um par “inibe” a ação de alelos de outro par.

Um exemplo de epistasia dominante é encontrado na herança da cor da pelagem em cavalos, que depende, entre outros fatores, da ação de dois pares de genes: *Ww* e *Bb*. O alelo **W** “inibe” a manifestação da cor e é dominante sobre seu alelo *w*, que permite a manifestação da cor; o gene **B** determina pêlos pretos e seu alelo *b*, pêlos marrons. Quando o gene **W** está presente no genótipo, o fenótipo é pêlos brancos, pois ele é dominante e “inibe” a ação dos genes do outro par. O gene **W** é epistático, enquanto os alelos **B** e *b* são hipostáticos.

Cruzando-se cavalos heterozigóticos para os dois pares de genes, obtêm-se:



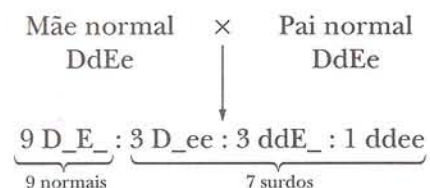
A proporção fenotípica resultante do cruzamento entre diíbridos é **12 : 3 : 1**, característica da epistasia dominante.

Epistasia recessiva duplicada

Ocorre quando o par de alelos recessivos (*aa*) de um locus “inibe” a ação de genes de outro par de cromossomos homólogos (**B** e *b*) e, ao mesmo tempo, o par de alelos *bb* “inibe” a ação dos alelos **A** e *a*. Assim, o par de alelos *aa* é epistático sobre **B** e *b*, e o par *bb* é epistático sobre **A** e *a*. Nesse caso, quando ocorrerem no genótipo os pares *aa* e/ou *bb*, os fenótipos serão iguais.

Quando os dois dominantes estão presentes juntos (**A_B_**), eles se complementam, produzindo um outro fenótipo. Formam-se, então, duas classes fenotípicas no cruzamento entre dois heterozigotos, para os dois pares de alelos.

É o que acontece na surdez congênita na espécie humana. Essa anomalia é devida à homozigose dos genes recessivos **d** ou **e**, que interagem na determinação desse caráter. São necessários dois alelos dominantes **D** e **E** para a audição normal. A proporção esperada do cruzamento entre diíbridos é 9 : 7:

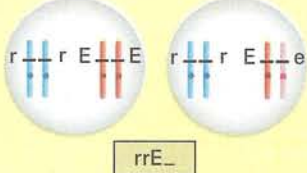
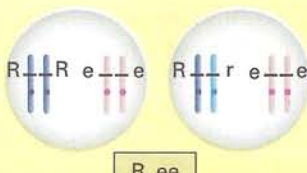


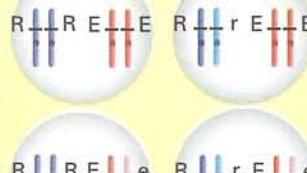
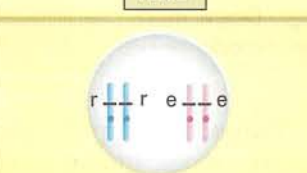
3.2. Interações não-epistáticas

A herança da forma da crista em galináceos é um exemplo de interação gênica não-epistática. Existem quatro tipos de crista: simples, ervilha, rosa e noz.

Os pares de alelos responsáveis pela forma da crista de galináceos serão representados pelas letras **R** e **E**.

Dependendo da combinação entre os genes, haverá manifestação de um determinado fenótipo, como mostra a tabela a seguir:

Fenótipos	Genótipos
 Ervilha	 $rrE_$
 Rosa	 R_ee

Fenótipos	Genótipos
 Noz	 $R_E_$
 Simples	 $rree$

Analisando as possíveis variações fenotípicas entre os descendentes do cruzamento entre diíbridos, obtém-se:

$$\frac{9}{16} R_E_ : \frac{3}{16} rrE_ : \frac{3}{16} R_ee : \frac{1}{16} rree$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 9 noz : 3 ervilha : 3 rosa : 1 simples

A proporção 9 : 3 : 3 : 1 é igual à obtida pela Segunda lei de Mendel. A diferença é que, pela Segunda lei de Mendel, aparecem duas características e, neste caso de interação gênica, aparece apenas uma característica com quatro fenótipos.

4. Herança quantitativa

A herança quantitativa (ou herança poligênica ou, ainda, poligenia) é um caso especial de interação gênica em que os fenótipos são contínuos.

Se você medir a altura dos indivíduos que possuem a mesma idade em sua escola, notará que entre os de baixa estatura e os de estatura elevada existe toda uma gradação de estaturas possíveis.

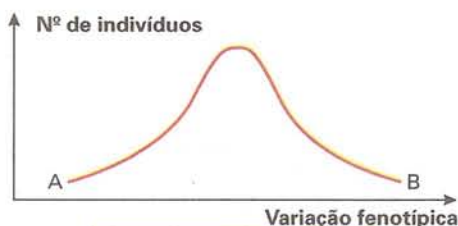


Gráfico de uma curva de distribuição normal.

Apesar de a estatura ser determinada geneticamente, ela pode sofrer forte interferência de fatores ambientais, como, por exemplo, a alimentação.

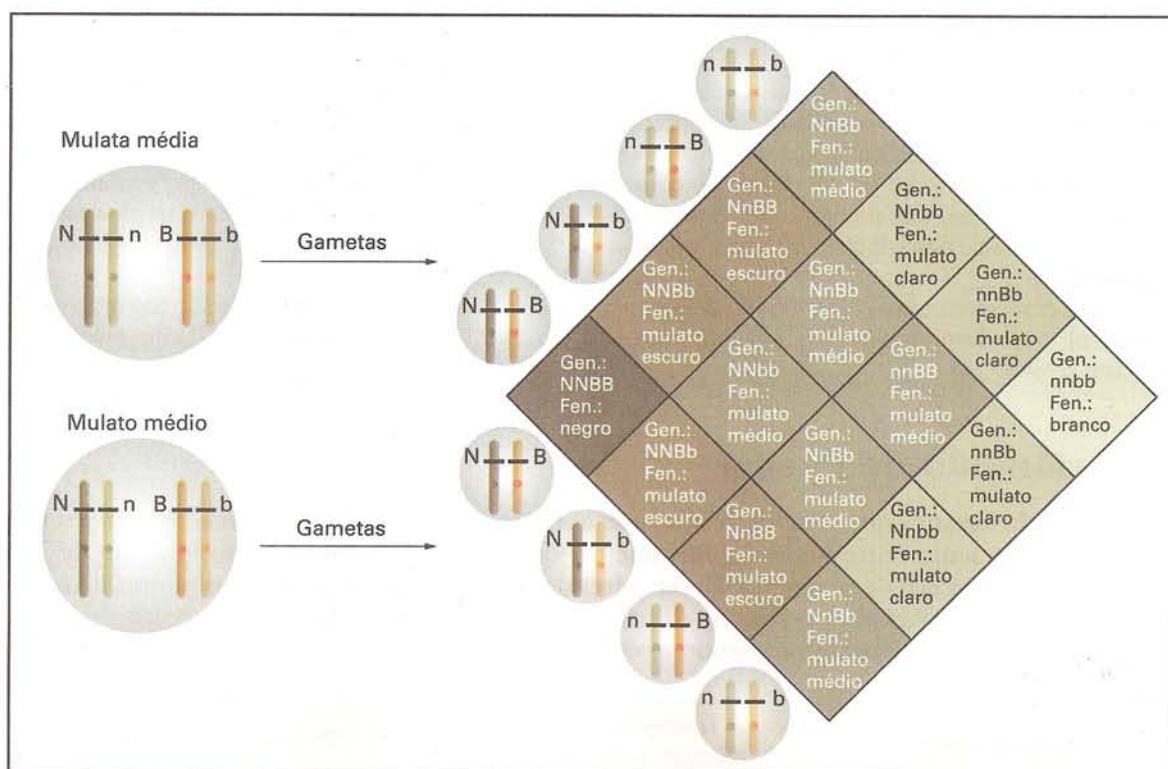
Crianças malnutridas crescerão menos do que o determinado por seu potencial genético.

Os genes que participam da herança quantitativa são denominados **polígenes**, e cada um contribui com uma parcela no fenótipo. Cada par de polígenes localiza-se em um par de cromossomos homólogos.

A herança da cor da pele na espécie humana é um exemplo. Nesse caso, parecem estar envolvidos, no mínimo, dois pares de alelos localizados em cromossomos não-homólogos: um par com os alelos **N** e **n** e outro com os alelos **B** e **b**.

Os alelos **N** e **B** determinam a síntese de grande quantidade de **melanina** nas células da pele, enquanto os alelos **n** e **b** determinam a síntese de pouca melanina. Como a melanina é o pigmento responsável pela cor da pele, os indivíduos **NNBB** possuem muita melanina e são **negros**; já os indivíduos **nnbb** possuem pouca melanina na pele e são **brancos**. Entre eles, verifica-se uma gama de classes fenotípicas.

Vamos supor um cruzamento entre indivíduos mulatos médios, ambos heterozigóticos para os dois pares de genes:



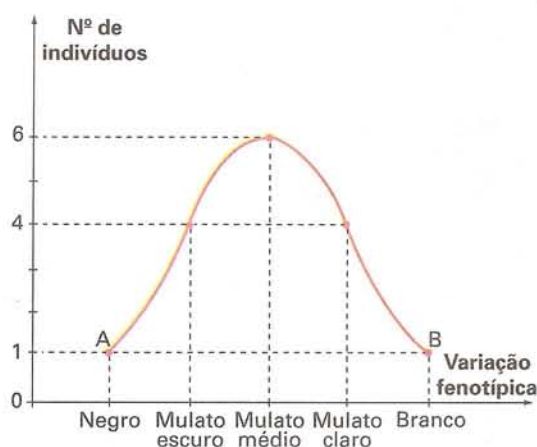
Os resultados acima podem ser resumidos no quadro a seguir:

Genótipos	Fenótipos	Proporção fenotípica
NNBB	Negro	1 : 16
NNBb, NnBB	Mulato escuro	4 : 16
NNbb, nnBB, NnBb	Mulato médio	6 : 16
nnBb, Nnbb	Mulato claro	4 : 16
nnbb	Branco	1 : 16

Esses dados podem ser usados na construção de um gráfico e dão origem a uma curva de distribuição normal (ao lado).

Os pontos **A** e **B** indicam que poucos indivíduos apresentam aquela variação fenotípica, havendo, entre esses extremos, uma variação contínua de fenótipos e maior número de indivíduos com fenótipos intermediários.

A cor da pele é bastante influenciada pela radiação ultravioleta do Sol, que estimula as células da pele a produzir mais melanina. Com isso, o corpo fica protegido do efeito prejudicial que o excesso de raios ultravioleta pode causar.



A cor do olho humano

A herança dos genes relacionados com a cor do olho humano foi há algum tempo explicada como decorrente de um par de alelos com relação de dominância completa. Hoje se sabe que a explicação não é tão simples. Mesmo assim, é muito comum encontrarmos problemas de Genética que tratam a herança da cor do olho como sendo devida aos alelos **A**, condicionando fenótipo castanho, e aos alelos **a**, condicionando fenótipo azul. Os indivíduos **aa** teriam olhos azuis e os **Aa** ou **AA**, olhos castanhos.

Quando se observam as diferenças de cores nos olhos humanos, verifica-se que não existem somente olhos azuis e castanhos, mas uma grande variação de tonalidades. Essas variações parecem ser devidas a pelo menos quatro pares de alelos localizados em cromossomos distintos, configurando um caso de herança poligênica (ou quantitativa).

Nesse caso, esses alelos atuam na determinação de nove fenótipos distintos, que são (do mais claro ao mais escuro): azul-claro, azul-médio, azul-escuro, cinza, verde, avelã, castanho-claro, castanho-médio, castanho-escuro (preto).

4.1. O triângulo de Pascal

Nos casos de herança quantitativa, verificou-se que há um padrão de distribuição fenotípica na prole resultante do cruzamento entre heterozigotos que obedece ao desenvolvimento do binômio de Newton: $(p + q)^n$, sendo **n** o número de poligenes. Desenvolvendo-se esse binômio para vários valores de **n**, pode-se construir o triângulo de Pascal com base na distribuição dos coeficientes binomiais.

O triângulo de Pascal está reproduzido a seguir:

Nº total de poligenes	Triângulo de Pascal (coeficientes binomiais)	Nº total de combinações
0	1	1
1	1 1	2
2	1 2 1	4
3	1 3 3 1	8
4	1 4 6 4 1	16
5	1 5 10 10 5 1	32
6	1 6 15 20 15 6 1	64
7	1 7 21 35 35 21 7 1	128
8	1 8 28 56 70 56 28 8 1	256

Por exemplo, quando se deseja saber a proporção fenotípica na prole de heterozigotos para três pares de alelos (seis poligenes), procura-se no triângulo de Pascal a linha que corresponde ao número 6. Podemos escrever essas proporções do seguinte modo:

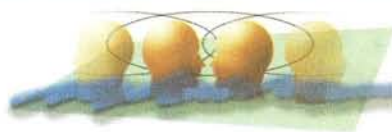
$$\frac{1}{64} : \frac{6}{64} : \frac{15}{64} : \frac{20}{64} : \frac{15}{64} : \frac{6}{64} : \frac{1}{64}$$



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Conceitue pleiotropia e interações gênicas epistática e não-epistática.
2. Mencione e explique os casos de interação epistática mencionados no capítulo.
3. Usando o triângulo de Pascal, resolva o seguinte problema:

Um casal, ambos com olhos de cor verde, com genótipos **AaBbCcDd**, deseja saber quais são as tonalidades possíveis de cor de olhos em seus filhos e suas respectivas probabilidades. Construa um gráfico com esse resultado colocando na ordenada os coeficientes binomiais que correspondem às proporções fenotípicas da prole e na abscissa os fenótipos correspondentes.



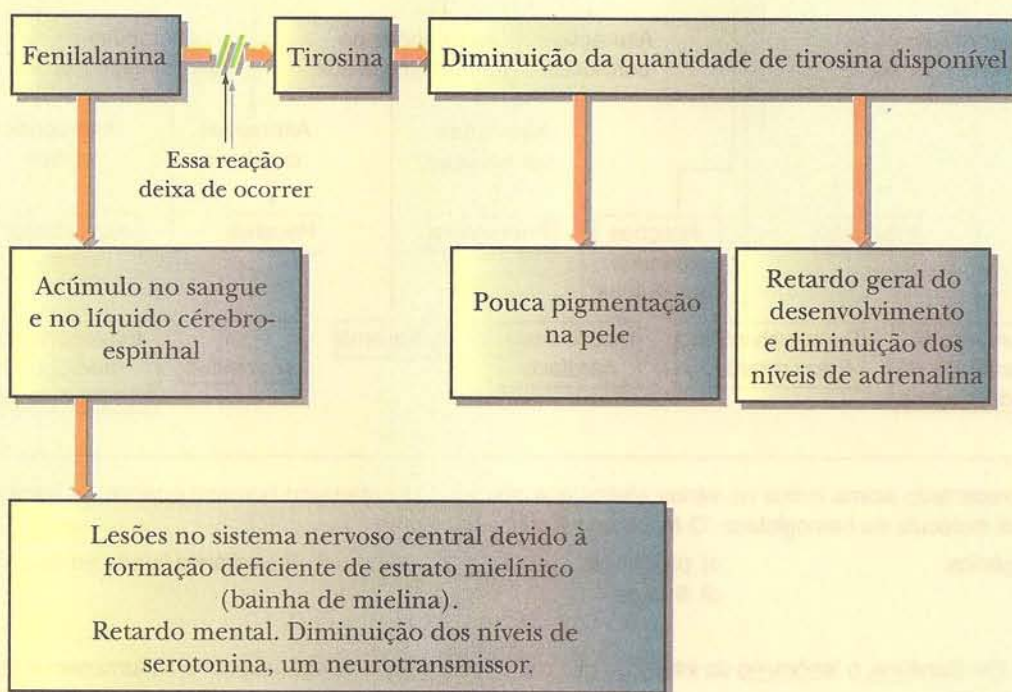
TEXTO PARA DISCUSSÃO

Alguns exemplos de pleiotropia na espécie humana

Vamos analisar aqui alguns caracteres da espécie humana que são exemplos de pleiotropia.

A **fenilcetonúria** é uma doença hereditária determinada por alelo recessivo. A pessoa afetada não consegue metabolizar o aminoácido fenilalanina, pois não sintetiza a enzima responsável pela sua conversão em tirosina. Esse fato desencadeia uma série de consequências graves no organismo e, para ter uma vida normal, os afetados não podem ingerir alimentos que contenham esse aminoácido. Por isso, verifica-se nos rótulos dos alimentos o alerta para a presença de fenilalanina.

Veja no esquema a seguir um resumo dos efeitos pleiotrópicos desse gene:



O diagnóstico dessa anomalia é feito pelo “teste do pezinho”, obrigatório nas maternidades do Brasil, assim que a criança nasce. Detectada a doença, a criança pode ter um desenvolvimento normal, desde que não ingira alimentos com fenilalanina. Uma dieta orientada por médicos deve ser seguida com rigor para o bem da criança.

Doenças como essa são decorrentes de erros inatos do metabolismo e determinadas geneticamente, havendo bloqueio metabólico.

Outros exemplos desses erros inatos do metabolismo na espécie humana e que são causados por alelos recessivos são:

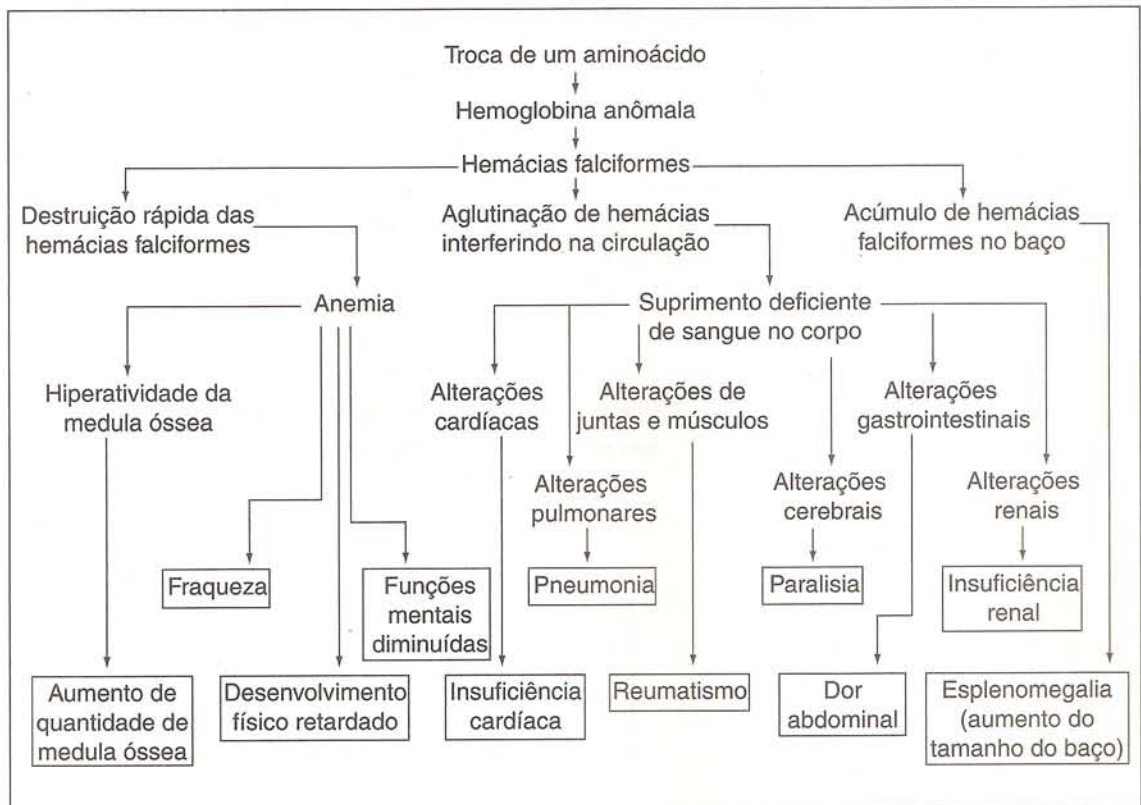
- **doença de Gaucher:** a deficiência da enzima glicosilceramidase determina aumento do baço e do fígado, erosão dos ossos longos, deterioração mental grave, pigmentação castanha das áreas expostas ao Sol;
- **galactosemia:** a deficiência da enzima galactose-1-fosfato uridiltransferase determina aumento do baço e do fígado, cirrose hepática, catarata, retardo físico e mental, intolerância à galactose.

Consulte o [site www.apaesp.org.br](http://www.apaesp.org.br) e escolha um dos assuntos abordados nele para fazer um trabalho e discutir com seus colegas.



TESTES

1. (UFJF-MG) Observe o quadro abaixo:



O quadro representado acima indica os vários efeitos que ocorrem no organismo humano quando há troca de um único aminoácido na molécula da hemoglobina. O fenômeno é conhecido como:

- a) interação gênica.
- b) epistasia.
- c) pleiotropia.
- d) *linkage*.
- e) herança ligada ao sexo.

2. (PUC-RJ) Em Genética, o fenômeno da interação gênica consiste no fato de:

- a) uma característica provocada pelo ambiente, como surdez por infecção, imitar uma característica genética, como a surdez hereditária.
- b) vários pares de genes não-alelos influenciarem na determinação de uma mesma característica.
- c) um único gene ter efeito simultâneo sobre várias características do organismo.
- d) dois pares de genes estarem no mesmo par de cromossomos homólogos.
- e) dois cromossomos se unirem para formar um gameta.

3. (UFSE) Em certas aves, a cor da plumagem depende de dois pares de alelos autossômicos com segregação independente. O alelo **P** condiciona a produção de pigmentos e a plumagem é colorida; o alelo recessivo **p** não leva à produção de pigmentos e a plumagem é branca. O alelo **C**

inibe a manifestação da cor e a plumagem é branca; o alelo recessivo **c** permite a manifestação da cor. A maior frequência de descendentes com plumagem branca é esperada a partir do cruzamento:

- a) PPCC x ppcc.
- b) PPcc x ppcc.
- c) PPCc x Ppcc.
- d) PpCc x Ppcc.
- e) PpCc x ppcc.

4. (UFV-MG) Em certas espécies vegetais se sabe que a cor vermelha da flor aparece apenas quando estão presentes o alelo dominante **A** junto com o **B**. Em cruzamento de uma dessas plantas de flores vermelhas com uma de cor branca, foram obtidas 29 plantas vermelhas e 51 brancas em F_1 . Indique a alternativa que apresenta os genótipos parentais mais prováveis desse cruzamento:

- a) aaBb x aaBb
- b) aaBB x AAbb
- c) AaBb x Aabb
- d) AAbb x aabb
- e) AaBb x AaBb

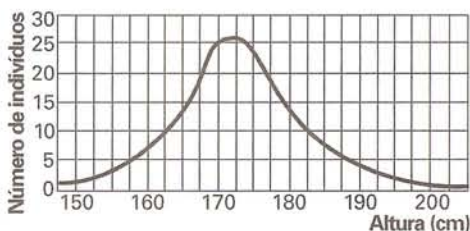
5. (Puccamp-SP) Em certa espécie de planta, a cor das flores depende de dois pares de genes com segregação independente: o gene **R** determina cor vermelha e é dominante sobre seu alelo **r**, que condiciona cor roxa; o gene **C** inibe a manifestação da cor (flores brancas) e é dominante sobre seu alelo **c**, que permite a manifestação da cor. Na descendência do cruzamento entre plantas **RrCc**, espera-se uma proporção fenotípica de:

- a) 12 brancas : 3 vermelhas : 1 roxa.
- b) 12 vermelhas : 3 brancas : 1 roxa.
- c) 9 brancas : 3 vermelhas : 4 roxas.
- d) 9 vermelhas : 3 brancas : 4 roxas.
- e) 9 vermelhas : 3 roxas : 4 brancas.

6. (UFRS) Na espécie humana, há um tipo de surdez que tem determinação genética autossômica: dois genes não-alelos dominantes (**D** e **E**) interagem de modo que, na falta de qualquer um dos dois, o indivíduo será surdo. Ocorrendo um casamento entre um homem normal homozigoto para os dois *loci*, com uma mulher heterozigota também para os dois *loci*, é correto afirmar que, se tiverem filhos e filhas:

- a) todos os meninos e meninas serão normais.
- b) todos os meninos e meninas serão surdos.
- c) somente os meninos serão surdos.
- d) somente as meninas serão surdas.
- e) metade dos filhos, independentemente do sexo, serão surdos.

7. (UnB-DF) O gráfico abaixo correlaciona a estatura com o número de pessoas de uma população.



Com base nesse gráfico, julgue os itens que se seguem:

- (1) Na correlação apresentada, é ilustrado um exemplo de herança poligênica.
- (2) O caráter estatura apresenta variação fenotípica discreta.
- (3) Os genótipos homozigotos apresentam-se em maior proporção.
- (4) Deficiências nutricionais na população considerada deslocariam a curva do gráfico para a esquerda.

8. (UFPA) No caso de herança multifatorial ou poligênica ou, ainda, quantitativa, quantos fenótipos diferentes serão encontrados para um caráter determinado pela ação de 4 pares de genes aditivos?

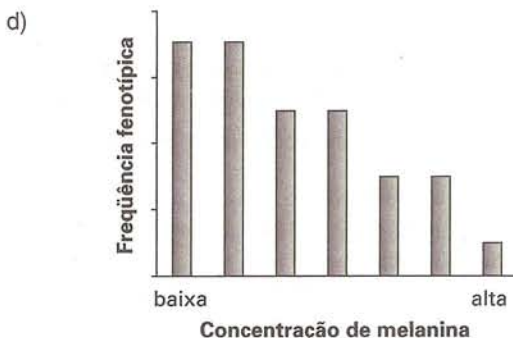
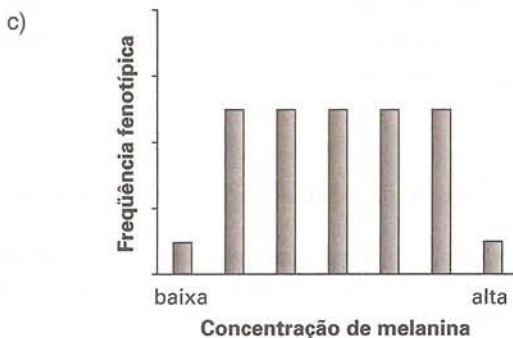
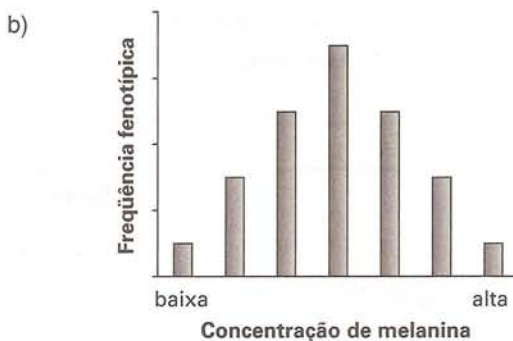
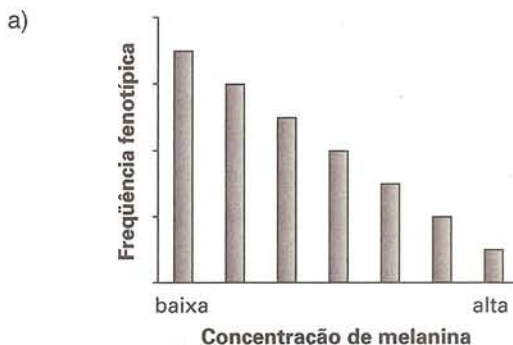
- a) 2 b) 4 c) 8 d) 9 e) 11

9. (MACK-SP) Suponha que em uma planta a altura seja condicionada por 3 pares de genes, **a**, **b**, **c**, com efeito aditivo. Os indivíduos de genótipo **aabbcc** medem 3 cm e cada gene dominante acrescenta 1 cm à altura da planta. Do cruzamento entre um indivíduo de genótipo **AABbCc** e um de genótipo **aaBbcc**, a proporção de indivíduos com

5 cm em F_1 é de:

- a) $\frac{5}{8}$ b) $\frac{7}{8}$ c) $\frac{3}{8}$ d) $\frac{1}{8}$ e) $\frac{1}{2}$

10. (UFRN) A cor da pele humana é consequência do efeito cumulativo de mais de um gene, de modo que cada gene contribui igualmente para o fenótipo. O gráfico que representa a proporção fenotípica nesse tipo de herança é:





QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Existe um gene em cobaias que suprime o efeito do gene que determina a coloração nesses animais. Esse gene está localizado em um cromossomo diferente daquele em que está o gene que determina a cor do animal. Cobaias albinas homozigotas foram cruzadas e todos os descendentes nasceram pretos. Como isto pode ser explicado, considerando-se que não ocorreu mutação? Justifique.

2. (UERJ) As reações enzimáticas abaixo indicam a passagem metabólica que sintetiza pigmentos em uma planta:



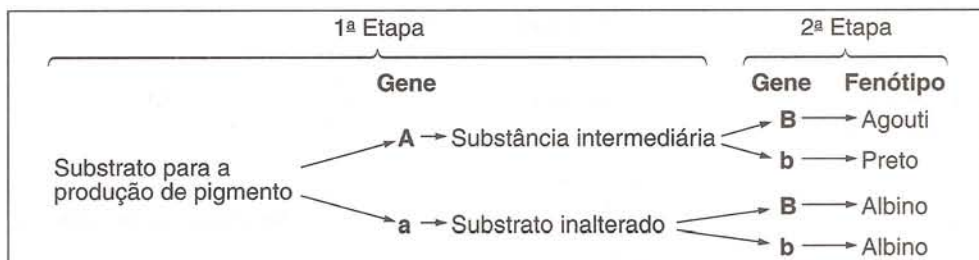
Considere as seguintes condições:

- para as enzimas **A** e **B**, os alelos **A** e **B** produzem enzimas funcionais, enquanto os alelos **a** e **b** produzem enzimas inativas;
- uma única cópia funcional da enzima **A** ou da enzima **B** é suficiente para catalisar normalmente a sua respectiva reação.

Determine a proporção esperada entre as cores das plantas descendentes na primeira geração do cruzamento **AaBb** × **AABb**.

3. (UFMG) Em camundongos, o tipo selvagem, encontrado comumente na natureza, apresenta pelagem de coloração acinzentada (agouti). Duas outras colorações são também observadas: preta e albina.

Este esquema mostra as duas etapas, os dois pares de genes envolvidos e os fenótipos relativos aos tipos de coloração dos camundongos:



Utilizando essas informações e seus conhecimentos, faça o que se pede:

- Do cruzamento entre camundongos preto e albino, obtiveram-se 100% de camundongos agouti. Dê os genótipos dos camundongos envolvidos no cruzamento:
 - preto;
 - albino;
 - agouti.
- Do cruzamento de dois camundongos agouti, obtiveram-se descendentes na seguinte proporção: 9 agouti : 3 pretos : 4 albinos.
 - Cite todos os genótipos possíveis para os camundongos albinos obtidos.
 - Apresente uma explicação para a alteração da proporção 9 : 3 : 3 : 1 (esperada em cruzamentos de diíbridos) para 9 : 3 : 4.
- Cite a probabilidade de se obterem camundongos pretos do cruzamento de albinos (duplo-homozigotos) com agouti (duplo-heterozigotos).

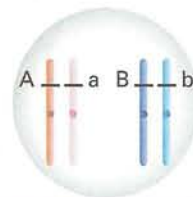
4. (Unesp-SP) Em ratos, a cor da pelagem é condicionada por gene autossômico, sendo o gene **C**, dominante, responsável pela coloração amarela, e seu alelo **c**, recessivo, responsável pela coloração cinza. Um geneticista observou que o cruzamento de ratos de pelagem amarela com ratos de pelagem cinza resultou descendentes amarelos e cinza em igual proporção; porém, o cruzamento de ratos amarelos entre si produziu $\frac{2}{3}$ de descendentes de pelagem amarela e $\frac{1}{3}$ de descendentes de pelagem cinza.

- A partir de 20 ovos, originados do cruzamento de machos amarelos e fêmeas cinza, quantas fêmeas amarelas adultas são esperadas? Justifique.
- A partir de 40 ovos, originados do cruzamento entre ratos amarelos, quantos machos cinza deverão atingir a idade adulta? Justifique.

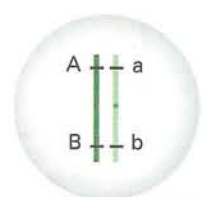
Genes ligados, permutações e mapas genéticos

1. Genes ligados

Neste capítulo, vamos estudar uma importante restrição à Segunda lei de Mendel: os **genes ligados** ou **em ligação gênica** ou, ainda, em *linkage* (palavra inglesa que significa ligação). Como esses genes se situam em um mesmo cromossomo, transmitem-se em conjunto, a não ser que ocorra permutação ou *crossing over* na meiose.

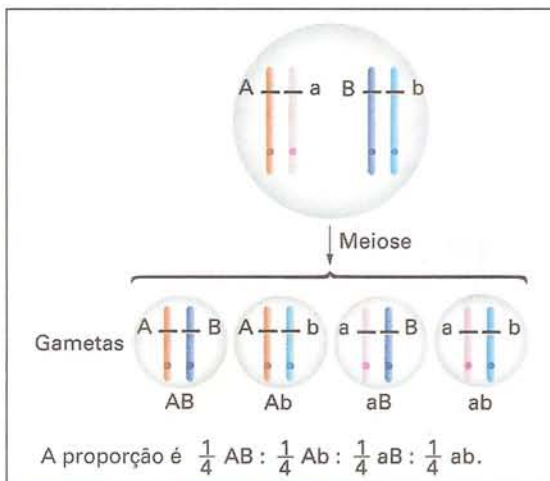


Esquema representando a situação em que a Segunda lei é válida (cores-fantasia).

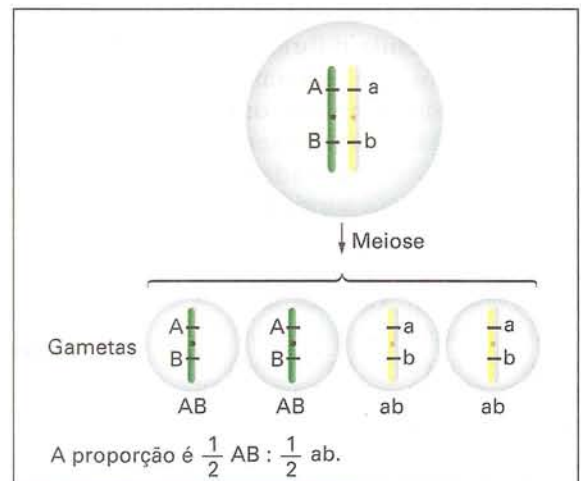


Esquema representando ligação gênica: a Segunda lei **não** é válida (cores-fantasia).

Retome seus conhecimentos sobre meiose e Segunda lei de Mendel e analise o esquema seguinte, comparando os tipos de gametas formados nas células hipotéticas diíbridas usadas como exemplo. Verifique o que acontece quando os alelos **Aa** situam-se em um par de cromossomos homólogos e os alelos **Bb** em outro par de cromossomos homólogos: veja que esses pares de alelos segregam-se independentemente na meiose. Verifique também o que acontece quando os genes **A** e **B** estão ligados em um cromossomo e os seus respectivos alelos **a** e **b** estão ligados no cromossomo homólogo.



Esquema representando a Segunda lei de Mendel (cores-fantasia).



Esquema representando genes ligados (cores-fantasia).

Quando os genes não estão ligados e, portanto, transmitem-se independentemente, podem ser formados quatro tipos distintos de gametas, todos em igual proporção, como diz a Segunda lei de Mendel.

Quando os genes estão ligados e não há permutação, formam-se apenas dois tipos distintos de gametas, em igual proporção entre eles.

No exemplo dado, os gametas em cada caso são:

- segregação independente:

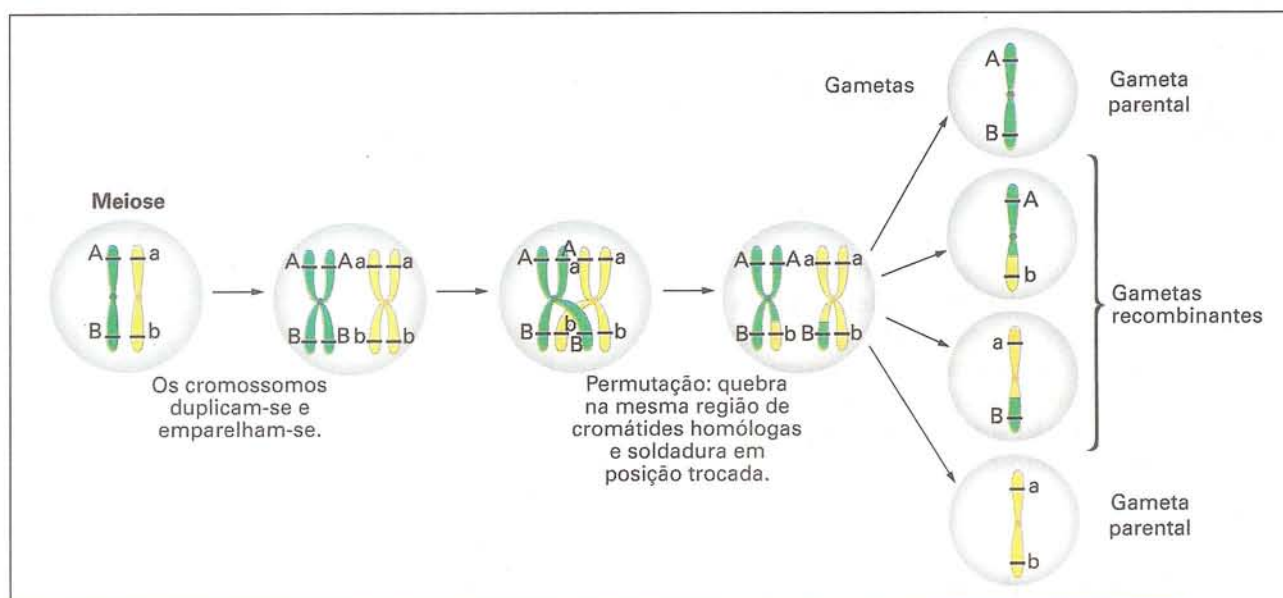
$$\frac{1}{4} AB : \frac{1}{4} Ab : \frac{1}{4} aB : \frac{1}{4} ab$$

- genes ligados:

$$\frac{1}{2} AB : \frac{1}{2} ab$$

2. Permutação e segregação independente

Vamos analisar agora o que acontece quando há permutação entre os genes ligados. Para isso, analise o esquema a seguir:



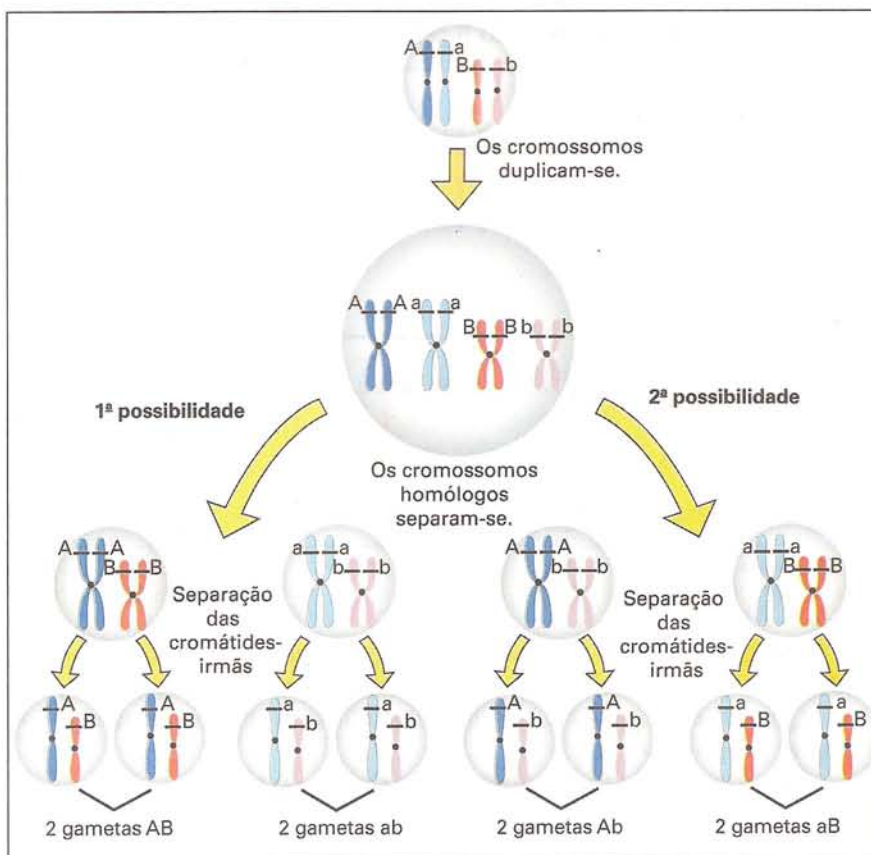
Gametas recombinantes são os que apresentam novas combinações gênicas resultantes da permutação. **Gametas parentais** são os que apresentam combinações gênicas não-resultantes da permutação. Esquema em cores-fantasia.

Quando há permutação, surgem, além dos gametas **AB** e **ab**, que seriam os esperados para essa célula diíbrida, outros dois tipos, que refletem a ocorrência de permutação: os gametas **Ab** e **aB**. Esses gametas são chamados **recombinantes**, pois surgiram de um processo de recombinação entre os genes ligados. Os gametas **AB** e **ab** são chamados **parentais**, pois apresentam os genes **AB** e **ab** ligados, do mesmo modo como ocorrem na célula inicial ou parental.

Atente para outro dado desse esquema; observe que de uma célula inicial surgem quatro gametas distintos, todos em igual proporção entre si:

$$\frac{1}{4} AB : \frac{1}{4} Ab : \frac{1}{4} aB : \frac{1}{4} ab$$

Compare esse resultado com o obtido na segregação independente representada no esquema ao lado.



Esquema representando a segregação independente (cores-fantasia).

Veja que no esquema anterior abrimos duas possibilidades de disposição dos cromossomos na meiose I. Na primeira possibilidade, de uma célula inicial formam-se quatro gametas, sendo dois deles **AB** e dois **ab**. Na outra possibilidade, de uma célula inicial formam-se quatro gametas, sendo dois deles **Ab** e dois **aB**. O cálculo da proporção entre os gametas formados é feito com base em oito gametas, sendo que quatro deles provêm de uma divisão meiótica e os outros quatro de outra divisão meiótica. Esse cálculo foi o seguinte:

$$\frac{2}{8} AB : \frac{2}{8} ab : \frac{2}{8} Ab : \frac{2}{8} aB$$

Simplificando:

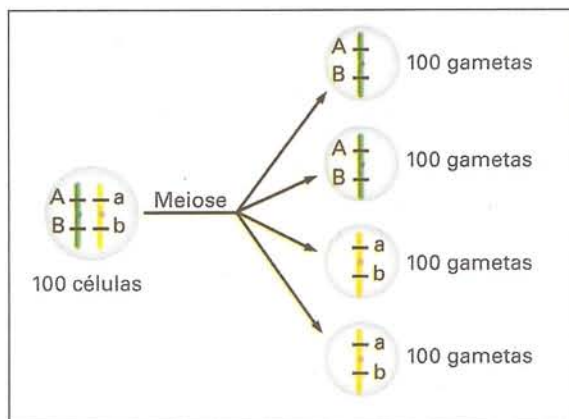
$$\frac{1}{4} AB : \frac{1}{4} ab : \frac{1}{4} Ab : \frac{1}{4} aB$$

Os gametas formados em ambos os casos são **AB**, **aB**, **Ab**, **ab**.

Como é possível diferenciar os casos de genes ligados, em que houve permutação, dos casos de segregação independente?

A resposta baseia-se no fato de a permutação não ocorrer sempre entre os mesmos segmentos dos cromossomos em todas as células germinativas que entram em meiose, mas apenas em algumas delas.

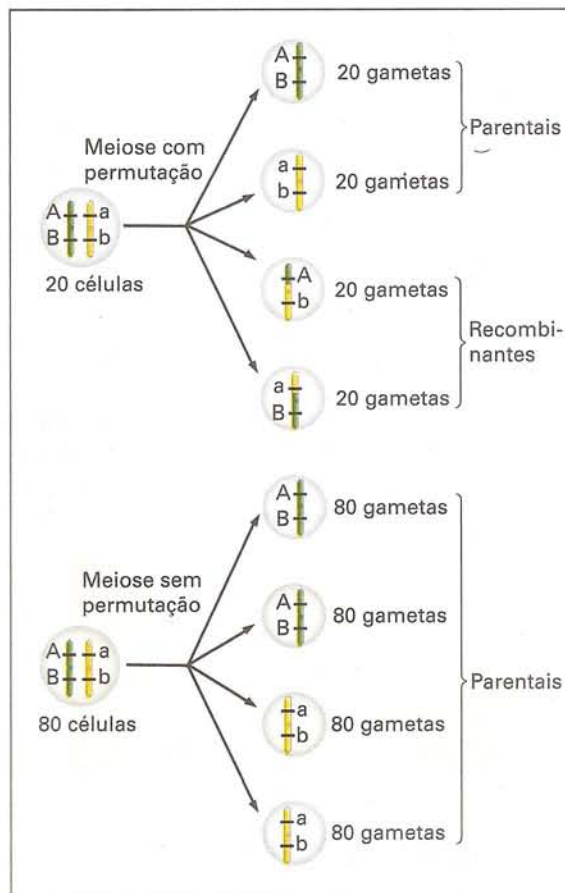
Para exemplificar, vamos supor que 100 células germinativas de genótipo **AaBb** entrem em meiose, que os genes **A** e **B** estejam ligados em um mesmo cromossomo e que não haja permutação.



Esquema em cores-fantasia.

Formam-se 400 gametas, e a proporção entre eles é: $\frac{1}{2} AB : \frac{1}{2} ab$.

Suponhamos agora que das 100 células do exemplo anterior, 20 apresentem permutação na meiose. Nesse caso teremos:



Esquema em cores-fantasia.

Serão formados:

$$\begin{aligned} \text{Gametas } AB &\rightarrow 20 + 80 + 80 = 180 \\ \text{Gametas } ab &\rightarrow 20 + 80 + 80 = 180 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Gametas } AB \\ \text{Gametas } ab \end{aligned}} \right\} \text{Parentais}$$

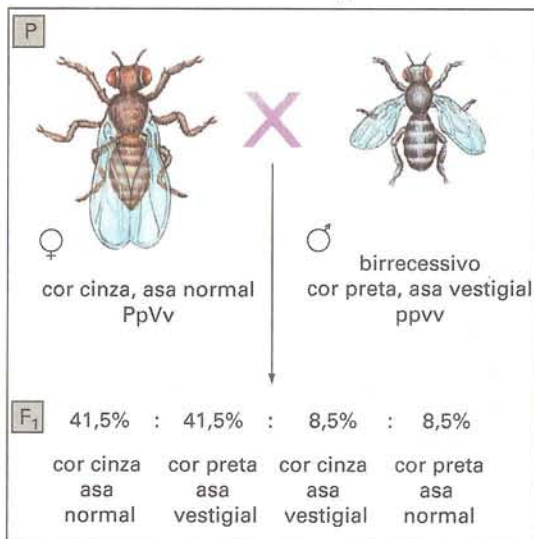
$$\begin{aligned} \text{Gametas } Ab &\rightarrow 20 \\ \text{Gametas } aB &\rightarrow 20 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Gametas } Ab \\ \text{Gametas } aB \end{aligned}} \right\} \text{Recombinantes}$$

A porcentagem de gametas recombinantes é menor do que a dos parentais.

3. Um dos experimentos de Morgan

Morgan (1866-1945) e seus colaboradores realizaram muitos experimentos que contribuíram para se compreender que os genes se localizam nos cromossomos e que em um cromossomo existem vários genes. O esquema da página seguinte resume um deles. Nesse exemplo, vamos analisar a herança de dois caracteres da mosca drosófila: cor do corpo e tipo de asa. Para entender a herança desses caracteres,

Morgan realizou cruzamentos-testes entre machos birrecessivos e fêmeas heterozigóticas.



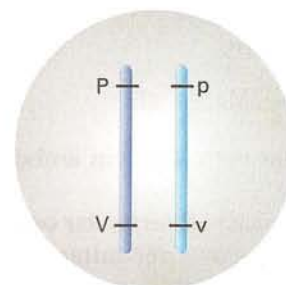
A porcentagem observada nos descendentes reflete a porcentagem dos gametas das fêmeas diíbridas, pois os machos birrecessivos produzem apenas um tipo de gameta: **pv**.

Fenótipos	Genótipos
41,5% cinza, normal	$PpVv$
41,5% preto, vestigial	$ppvv$
8,5% cinza, vestigial	$Ppvv$
8,5% preto, normal	$ppVv$

Portanto, o diíbrido formou:

- **parentais** { 41,5% de gametas **PV**
41,5% de gametas **pv**
- **recombinantes** { 8,5% de gametas **Pv**
8,5% de gametas **pV**

O diíbrido produziu gametas em proporções diferentes, indicando um caso de ligação gênica com permutação. Os gametas que ocorreram em maior porcentagem foram **PV** e **pv**, indicando que eles são os parentais; os gametas **Pv** e **pV**, que ocorreram em porcentagens menores, são os recombinantes. O genótipo do diíbrido é, então:



Esquema em cores-fantasia.

A porcentagem de permutações é dada pela soma das porcentagens dos gametas recombinantes. Neste caso é 17%, que corresponde à soma de 8,5% e 8,5%.

É interessante acrescentar que a permutação não ocorre em machos de drosófila, somente em fêmeas. Na maioria dos animais, entretanto, a permutação ocorre tanto em machos como em fêmeas.

4. Mapas genéticos

Convencionou-se que a porcentagem de permutações é o número que fornece a distância entre os genes localizados em um cromossomo. No caso do cruzamento das drosófilas, a distância entre os genes **A** e **B** é de 17 (8,5% + 8,5%) **unidades de recombinação (UR)**.

Se a porcentagem de permutação entre dois genes é 1%, a distância entre eles será de 1 UR. Esta unidade foi denominada **morganídeo**, em homenagem a Morgan, cujos experimentos permitiram chegar a essas conclusões.

Com base nesses dados, foi possível estabelecer **mapas genéticos**, como mostra o exemplo a seguir, que se refere a três genes ligados (**A**, **B** e **C**):

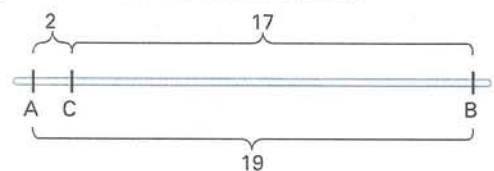
- porcentagem de recombinação entre **A** e **B** = 19%;
- porcentagem de recombinação entre **A** e **C** = 2%;
- porcentagem de recombinação entre **B** e **C** = 17%.

A distância entre:

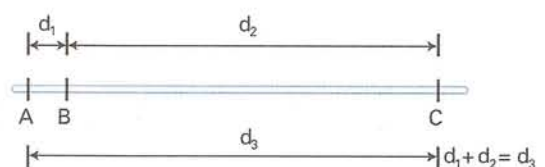
- **A** e **B** será de 19 morganídeos;
- **A** e **C** será de 2 morganídeos;

- **B** e **C** será de 17 morganídeos.

Dessa forma, os genes ocupam as seguintes posições relativas no cromossomo:



Pode-se esquematizar, então, da seguinte maneira:

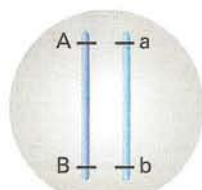


Diz-se que **d₁ + d₂** é aproximadamente igual a **d₃**, pois existem alguns fatores que interferem na frequência com que ocorrem as permutações e que não serão aqui discutidos.

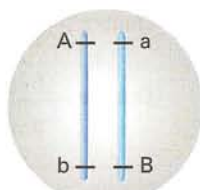


QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Vamos supor duas células diíbridas de mesmo genótipo AaBb, mas que apresentam os genes ligados de modos diferentes, como mostra a figura a seguir:



Posição **cis**



Posição **trans**

Esquema representando genes ligados em posição **cis** e em posição **trans** (cores-fantasia).

No primeiro caso, os genes dominantes estão ligados em um cromossomo e os respectivos alelos recessivos estão no cromossomo homólogo: fala-se que os genes estão ligados em posição **cis**.

No segundo caso, em um cromossomo estão ligados um gene dominante e um recessivo e os respectivos alelos estão no cromossomo homólogo: fala-se que os genes estão ligados em posição **trans**.

Monte um esquema, usando massa de modelar, para explicar a meiose quando os genes AaBb estão ligados em posição **trans**, sem a ocorrência de permutação. Monte depois outro esquema supondo a permutação entre esses genes na meiose.

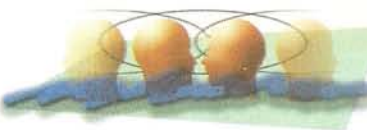
2. Explique qual é o melhor procedimento que se deve adotar para saber se um diíbrido possui genes que segregam

independentemente ou se eles estão ligados em posição **cis** ou **trans**.

3. A presença de um antígeno na superfície das hemácias Rh⁺ do sangue humano é decorrente da ação do alelo dominante **R**; as células Rh⁻ são produzidas pelo genótipo recessivo. Os eritrócitos (hemácias) de forma oval (eliptocitose ou ovalocitose) são causados pelo gene dominante **E**; seu alelo recessivo **e** produz hemácia normal. Ambos os genes estão ligados com uma distância de 20 unidades de recombinação. Um homem portador de eliptocitose, cuja mãe possuía eritrócitos normais e genótipo homozigoto Rh⁺, e cujo pai era Rh⁻ e heterozigoto para eliptocitose, casa-se com uma mulher Rh⁻, com hemácias normais. Quais são as probabilidades de seu primeiro descendente ser Rh⁻ e eliptocitótico?

4. Dois mutantes dominantes (**N** e **R**) de um grupo de ligação de cobaias determinam as características *pollex* (controle do retorno do dedão e do dedo mínimo das patas desses animais) e pelagem eriçada. Quando cobaias diíbridas *pollex* e de pêlos eriçados foram cruzadas com cobaias normais e de pêlo não-eriçado foram obtidas 79 cobaias de pêlos eriçados e não-*pollex*, 121 normais, 125 de pêlos eriçados e *pollex*, e 75 *pollex* e de pêlos não-eriçados. Com base nesses dados, determine:

- os genótipos dos pais;
- a porcentagem de permutação entre esses genes;
- se os genes estão em posição **cis** ou **trans**;
- a porcentagem de gametas parentais e recombinantes das cobaias diíbridas.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Genes ligados e mutações estruturais

Cada cromossomo possui vários genes ligados, formando o que se chama **grupo de ligação**. Vimos que, se não houvesse a permutação na meiose, cada grupo de ligação seria transmitido sempre em conjunto. A permutação permite a recombinação entre os genes, aumentando a variabilidade genética nas populações.

O aumento da variabilidade genética pode ocorrer por mudanças estruturais nos cromos-

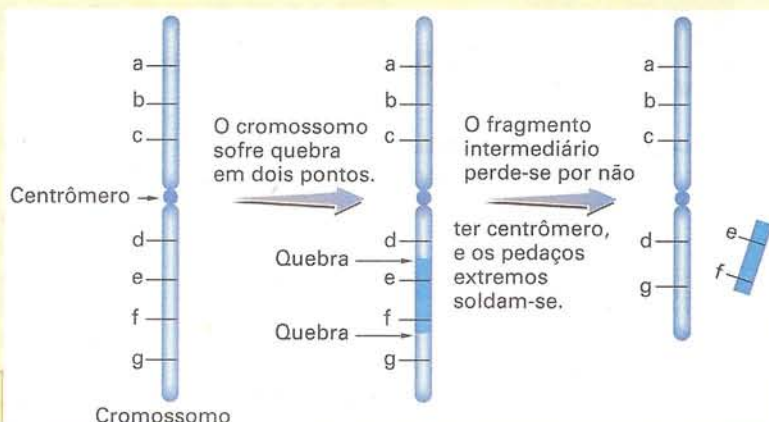
somos, chamadas **mutações cromossômicas estruturais**.

Existem as mutações cromossômicas numéricas, em que há alteração no número de cromossomos, e não em sua estrutura.

Aqui vamos falar apenas das mutações cromossômicas estruturais, que são: deficiência ou deleção, duplicação, inversão e translocação.

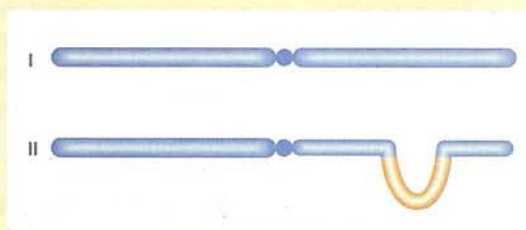
A **deficiência** ou **deleção** ocorre quando um cromossomo perde um segmento em função de quebras. Deficiências muito acentuadas podem ser letais, uma vez que a perda de muitos genes altera profundamente as condições do indivíduo.

Esquema mostrando como pode ocorrer a deficiência ou deleção (cores-fantasia).



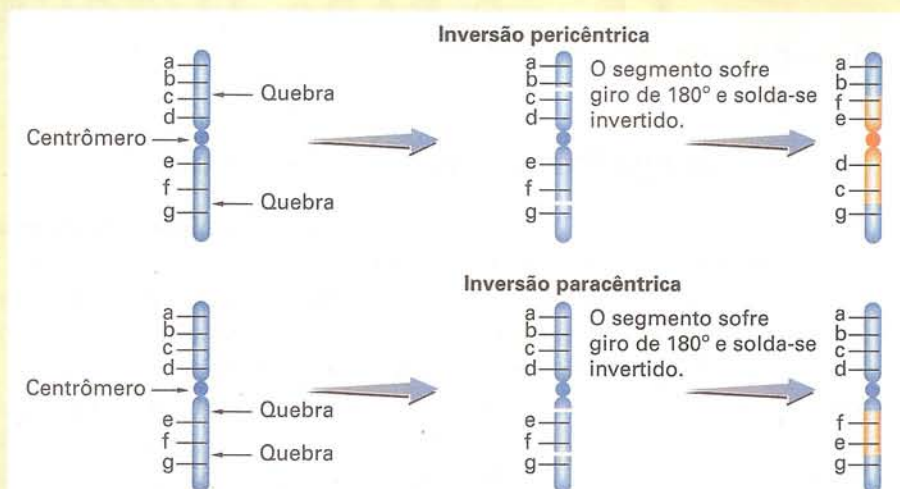
A **duplicação** corresponde à ocorrência de um ou mais segmentos em dose dupla, em um mesmo cromossomo. Isso nem sempre reduz a viabilidade de um organismo. Naqueles que toleram duplicações, um dos trechos em duplicata pode sofrer mutação sem que isso interfira na adaptabilidade do organismo, pois o outro trecho não-alterado pode continuar a atuar normalmente. É possível que alguns casos de deficiências cromossômicas viáveis estejam relacionados à existência de segmentos cromossômicos em dose dupla.

Nos casos de deficiências e de duplicações o emparelhamento dos cromossomos homólogos na meiose é anômalo e tem o aspecto da figura abaixo:



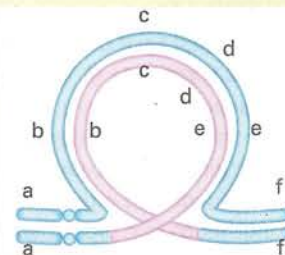
Esquema de emparelhamento meiótico em casos de deficiência e duplicação. Na deficiência, o cromossomo I é o aberrante e o II é o normal. Na duplicação, o cromossomo I é o normal e o II é o duplicado (cores-fantasia).

A **inversão** ocorre quando um cromossomo sofre quebra em dois pontos e o segmento entre as quebras apresenta um giro de 180° , soldando-se invertido no cromossomo. A sequência de genes apresenta-se, assim, invertida em relação à anterior. Quando a inversão envolve um segmento cromossômico que apresenta o centrômero, ela é denominada **pericêntrica**. Quando o centrômero não está no segmento invertido, ela é denominada **paracêntrica**.



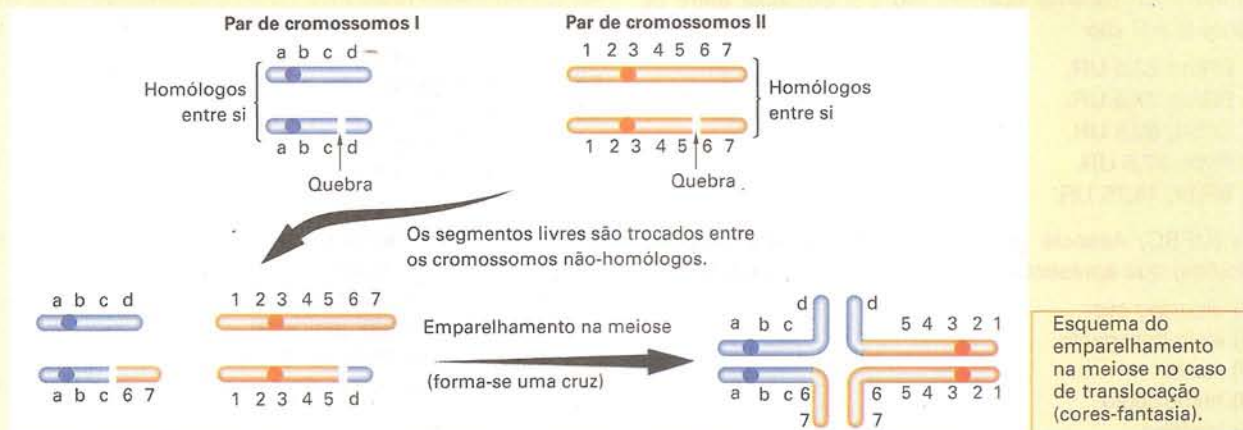
Esquema das inversões (cores-fantasia).

Na meiose, quando há emparelhamento entre o cromossomo invertido e o seu homólogo normal, forma-se uma figura típica como a mostrada ao lado.



Esquema do emparelhamento na meiose em casos de inversão (cores-fantasia).

A **translocação** ocorre quando dois cromossomos não-homólogos quebram-se simultaneamente e trocam seus segmentos. Na meiose, os dois pares de cromossomos não-homólogos emparelham-se em cruz, pois têm “segmentos homólogos” em função da translocação.



Algumas doenças humanas são decorrentes de mutações estruturais, como resumido a seguir:

- **Síndrome de Down por translocação:** essa síndrome ocorre em geral por mutação numérica, em que o indivíduo apresenta um cromossomo a mais do par 21; trata-se da trissomia do 21, que será vista no capítulo seguinte. Há, entretanto, duas outras possibilidades de ocorrer essa síndrome: translocação entre os pares 15 e 21 ou entre os pares 21 e 22.
- **Síndrome orofaciodigital:** translocação de parte do cromossomo 6 para o 1. Surgem defeitos nos lábios superiores, palato e cavidade bucal; os dedos dos pés são curtos e grossos e as unhas são curtas.
- **Síndrome do “miado de gato”:** deleção do braço curto do cromossomo 5. O choro das crianças assemelha-se ao miado de um gato em consequência de alterações na laringe. Há retardo mental e neuromotor, orelhas malformadas, microcefalia.

- Como se pode notar, os conhecimentos de Genética e da estrutura dos cromossomos têm levado cada vez mais o ser humano a compreender as causas de algumas doenças, possibilitando dar um acompanhamento cada vez maior às famílias em que elas ocorrem. Como atividade de grupo, monte as figuras mostradas neste texto para discussão, usando massa de modelar, troque os modelos que vocês construíram com os de outro grupo e discutam se os resultados obtidos foram satisfatórios para explicar os processos de mutação cromossômica.



TESTES

1. (UFPB) Se um indivíduo com genótipo AaBb produz 50% de seus gametas AB e 50% ab, é correto afirmar que se trata de um caso de:

- segregação independente e cada par de genes está em cromossomos não-homólogos.
- ligação completa e cada par de genes está em cromossomos não-homólogos.
- ligação em que ocorre *crossing over* e os dois pares de genes estão no mesmo par de cromossomos homólogos.
- segregação independente e os dois pares de genes estão no mesmo par de cromossomos homólogos.
- ligação completa e os dois pares de genes estão no mesmo par de cromossomos homólogos.

2. (UFRRJ) Numa certa espécie de milho, o grão colorido é condicionado por um gene dominante **B** e o grão liso por um gene dominante **R**. Os alelos recessivos **b** e **r** condicionam, respectivamente, grãos brancos e rugosos. No cruzamento entre um indivíduo colorido liso com um branco rugoso surgiu uma F_1 com os seguintes descendentes: 150 indivíduos que produziam sementes coloridas e lisas; 150 indivíduos que produziam sementes brancas e rugosas; 250 indivíduos que produziam sementes coloridas e rugosas; e 250 indivíduos que produziam sementes brancas e lisas. A partir desses resultados, podemos concluir que o genótipo do indivíduo parental colorido liso e a distância entre os genes **B** e **R** são:

- a) BR/br; 62,5 UR.
- b) BR/br; 37,5 UR.
- c) Br/bR; 62,5 UR.
- d) Br/br; 37,5 UR.
- e) BR/br; 18,75 UR.

3. (UFSC) Associe as colunas e indique a(s) proposição(ões) que apresenta(m) associação(ões) correta(s):

- (A) *crossing over*
- (B) alelo dominante
- (C) *locus*
- (D) homozigoto
- (E) fenótipo
- (F) cromossomos homólogos
- (G) mutação

- (I) local ocupado por um gene no cromossomo
- (II) gene que se expressa em heterozigose
- (III) apresentam a mesma sequência gênica
- (IV) indivíduo sem variação alélica
- (V) forma como um caráter se expressa
- (VI) troca de segmentos entre cromátides-irmãs
- (VII) alteração do material genético

- a) A — VI
- b) B — II
- c) C — V
- d) D — I
- e) E — IV
- f) F — III
- g) G — VII

4. (Fuvest-SP) Os genes **X**, **Y** e **Z** de um cromossomo têm as seguintes frequências de recombinação:

Genes	Frequência de recombinação
X e Y	15%
Y e Z	30%
Z e X	45%

Qual a posição relativa desses três genes no cromossomo?

- a) ZXY
- b) XYZ
- c) YZX
- d) XZY
- e) YXZ

5. (UFPI) Foram realizados vários cruzamentos numa certa espécie animal, envolvendo três *loci* gênicos: **a**, **b** e **c**, obtendo-se os resultados seguintes:

- 5% de recombinação entre **a** e **b**;
- 12% de recombinação entre **b** e **c**;
- 7% de recombinação entre **a** e **c**.

Esses resultados permitem afirmar que:

- a) os *loci* **a**, **b** e **c** sofrem segregação independente.
- b) os *loci* **a** e **b** estão no mesmo cromossomo, porém **c** se encontra num cromossomo diferente.
- c) a distância entre **a** e **c**, em termos de mapa genético, é de 24 unidades (morganídeos).
- d) o *locus* **a** fica entre os *loci* **b** e **c**.
- e) houve maior incidência de *crossing* entre **a** e **b** do que entre **b** e **c**.

6. (UFMT) Em junho de 2000, a humanidade assistiu intrigada ao anúncio da decodificação do genoma humano. A base genética do Projeto Genoma Humano é a ligação gênica, ou seja, genes que estão localizados no mesmo cromossomo. Em relação a genes ligados, julgue os itens:

1. Dois genes que estejam bem próximos no mesmo par de cromossomos homólogos segregam-se independentemente na meiose.
2. Um par de cromossomos homólogos pode trocar partes por *crossing-over*.
3. A recombinação produz indivíduos com novas combinações genotípicas.
4. Quanto maior a distância entre dois genes ligados, maior a probabilidade de ocorrer um quiasma entre eles.



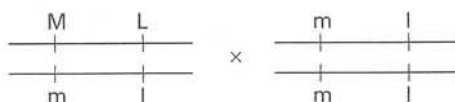
QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFPB) Através da análise das porcentagens dos diferentes tipos de gametas que um indivíduo de genótipo AaBb produz, explique como é possível saber se os dois pares de genes:

- a) segregam-se independentemente;
- b) estão ligados e, durante o processo meiótico, não ocorre permutação;
- c) estão ligados e, durante o processo meiótico, ocorre permutação.

2. (UFPB) Em moscas, os genes alelos que determinam as características **cor do olho** e **comprimento da asa** estão em um mesmo par de cromossomos homólogos. O gene **M** determina a cor marrom para os olhos e é dominante sobre o seu alelo **m**, que determina a cor branca para os olhos. O gene **L** determina a formação de asas longas e é dominante sobre o seu alelo **l**, que determina a formação de asas curtas.

A distância entre os dois *loci* gênicos é igual a 20 unidades de recombinação (morganídeos). De acordo com esses dados e considerando-se o cruzamento:



com ocorrência de *crossing over* durante a formação dos gametas, calcule o número esperado de descendentes com olhos marrons e asas curtas em uma prole de 1 500 indivíduos.

3. (UMC-SP) Um indivíduo de genótipo desconhecido foi cruzado com o birrecessivo mn/mn e produziu os seguintes descendentes:

4% MN/ mn 46% Mn/ mn 46% mN/ mn 4% mn/ mn

Pergunta-se:

- Qual o genótipo do indivíduo? Ele é *cis* ou *trans*?
- Que tipos de gametas ele formou e em que porcentagem?
- Quais desses gametas são parentais e quais são recombinantes?
- Qual é a distância dos *loci* *m* e *n* no mapa genético?

4. (Unicamp-SP) Um organismo, homozigoto para os genes **A B C D**, todos localizados em um mesmo cromossomo, é cruzado com outro, que é homozigoto recessivo para os mesmos alelos. O retrocruzamento de F_1 (com o duplo recessivo) mostra os seguintes resultados:

- não ocorreu permuta entre os genes **A** e **C**;
- ocorreu 20% de permuta entre os genes **A** e **B**, 30% entre **A** e **D**;
- ocorreu 10% de permuta entre os genes **B** e **D**.

- Baseando-se nos resultados acima, qual é a seqüência mais provável desses 4 genes no cromossomo, a partir do gene **A**?
- Justifique sua resposta.

5. (Unicamp-SP) Um cruzamento entre uma fêmea heterozigota para dois pares de genes ($AaBb$) e um macho homozigoto ($aabb$) resultou na seguinte descendência: $AaBb$, $Aabb$, $aaBb$, $aabb$. Foi observado, também, que todas as classes acima apareceram na mesma freqüência (25%), tanto entre os machos como entre as fêmeas. Considerando que há interesse em determinar se existe, ou não, ligação entre os genes estudados, explique qual seria a informação que este cruzamento fornece.

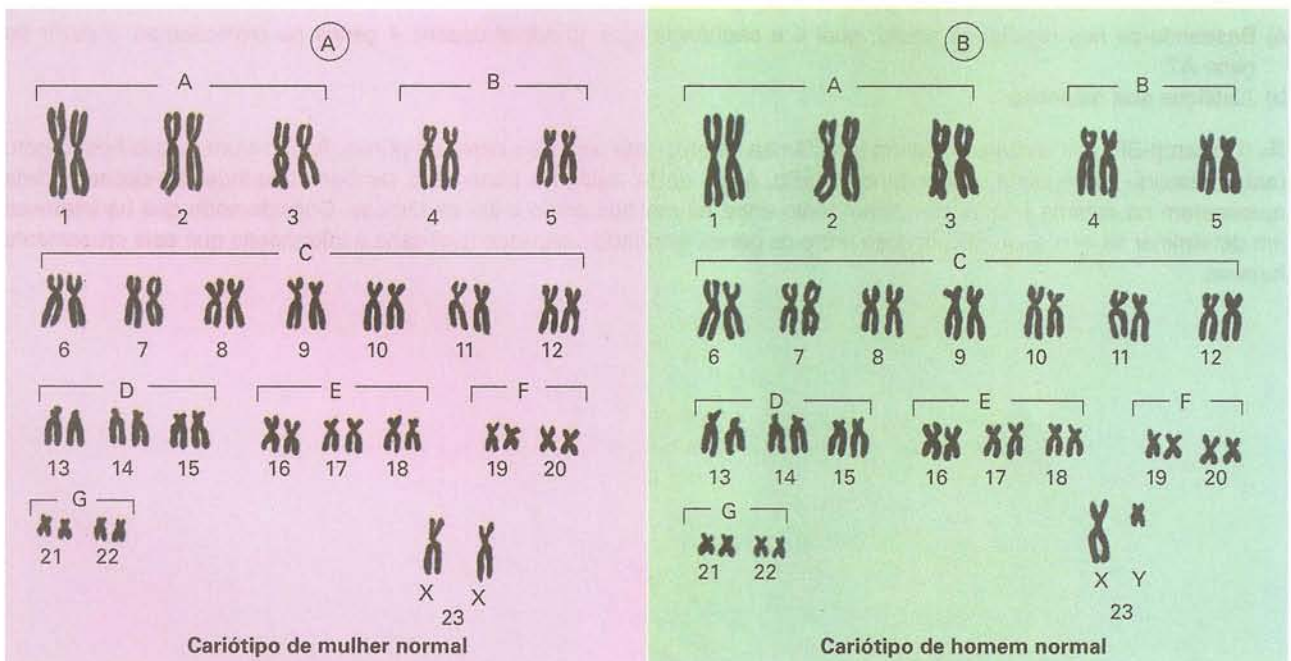
Hereditariedade e cromossomos sexuais

1. Determinação genética do sexo

Existem dois grandes grupos de mecanismos de determinação do sexo nos animais: o grupo que envolve apenas os cromossomos sexuais, do qual fazem parte os sistemas **XY**, **XO**, **ZW** e **ZO**, e o grupo que não envolve os cromossomos sexuais, interferindo nesse caso outros fatores, como os ambientais (temperatura, por exemplo).

2. O sistema XY

O esquema a seguir mostra cariótipos de dois indivíduos da espécie humana:



Esquema baseado em observações de micrografias.

Comparando a figura A, que mostra o cariótipo de uma mulher normal, com a figura B, que mostra o cariótipo de um homem normal, nota-se que os pares de cromossomos de 1 a 22 são iguais nos dois casos, mas o par de cromossomos 23 é diferente. Na figura A esse par é composto por cromossomos de mesmo formato e mesmo tamanho, enquanto na figura B ele é formado por dois cromossomos diferentes.

Os cromossomos que diferem nos dois sexos denominam-se **cromossomos sexuais** ou **heterossomos**, e os cromossomos que são idênticos nos dois sexos denominam-se **autossomos** (cromossomos autossômicos).

No sistema de determinação do sexo denominado sistema **XY**, o sexo feminino é definido pela presença de dois cromossomos sexuais iguais, chamados cromossomos **X**, e o sexo masculino, pela

presença de dois cromossomos sexuais diferentes, o cromossomo **X** e o cromossomo **Y**. Esse sistema de determinação do sexo ocorre na espécie humana e na maioria das espécies de mamíferos e de insetos.

No sistema **XY**, as fêmeas são o **sexo homogamético**, pois produzem apenas um tipo de gameta quanto aos cromossomos sexuais (todos os gametas normais portam um cromossomo **X**), e os machos são o **sexo heterogamético**, pois produzem dois tipos de gametas quanto aos cromossomos sexuais (metade dos gametas normais portam um cromosso-

mo **X** e a outra metade, um cromossomo **Y**).

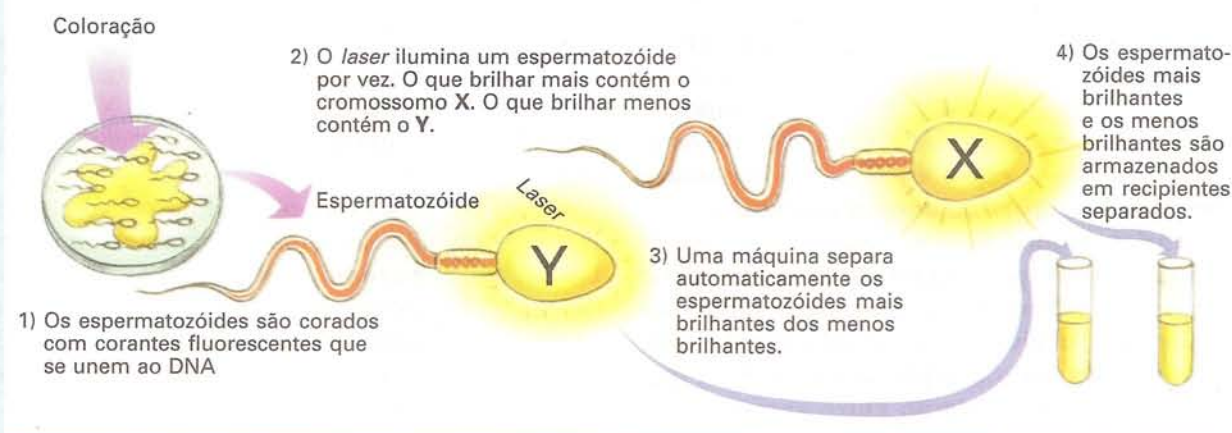
Nesse sistema, o sexo dos descendentes é determinado pelos gametas masculinos.

$2AXY \times 2AXX$		
Gametas		
	AX	
AX	2AXX	50% fêmeas
AY	2AXY	50% machos

A = um lote de cromossomos autossômicos

Escolhendo o sexo dos bebês

Cientistas da Virgínia, nos Estados Unidos, adaptaram uma técnica usada há mais de uma década para selecionar o sexo de vacas, cavalos e porcos. Eles coram os espermatozoides com corante fluorescente que se une ao DNA e medem o brilho do espermatozoide sob *laser*. O espermatozoide que brilhar mais é portador do cromossomo **X** e o que brilhar menos é portador do cromossomo **Y**. Isso porque o cromossomo **X**, nesses animais, tem cerca de 2,8% mais DNA do que o cromossomo **Y**. Assim identificados, os espermatozoides são separados por uma máquina e usados para inseminação artificial.



Esquema simplificado mostrando como se faz a diferenciação entre os espermatozoides portadores do cromossomo **X** ou do **Y**. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Essa técnica agora tem sido utilizada em seres humanos, apesar de a diferença entre a quantidade de DNA do cromossomo **X** e do **Y** ser menor que a mencionada. Os casais já podem decidir com bastante segurança o sexo de seus filhos. Uma aplicação importante dessa tecnologia refere-se à escolha do sexo para filhos de casais em que há doenças ligadas ao **X**. Nestes casos, a preferência é pelo sexo feminino.

Traduzido e adaptado da revista *Time*, 21 set. 1998.

3. Anomalias relacionadas aos cromossomos sexuais na espécie humana

Durante a meiose pode ocorrer não-disjunção de cromossomos e, em consequência, haver produção de gametas anormais.

Observe o esquema ao lado, que mostra o cruzamento entre um indivíduo que sofreu meiose anormal, sem a disjunção dos cromossomos sexuais, e outro que sofreu meiose normal.

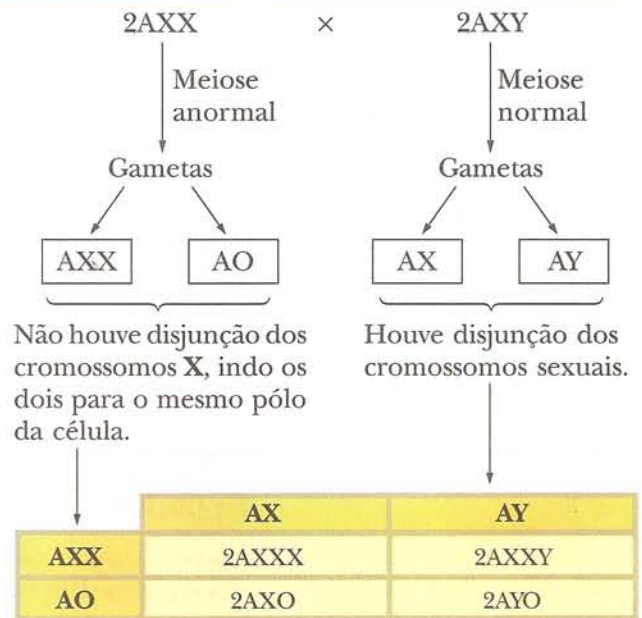
O indivíduo **2AYO** não chega a se formar.

Os indivíduos com cariótipo **2AXXX** são do sexo feminino, sendo chamados de **superfêmeas**; são férteis e raramente apresentam anormalidade.

Os portadores do cariótipo **2AXXY** são do sexo masculino e apresentam a **síndrome de Klinefelter**: são altos, estéreis e com testículos pequenos; em alguns casos apresentam mamas mais evidentes. Vivem normalmente.

Os indivíduos portadores do cariótipo **2AXO** são do sexo feminino e apresentam a **síndrome de Turner**: baixa estatura, esterilidade e, em alguns casos, pescoço muito curto e largo. Vivem normalmente.

Existem ainda indivíduos com cariótipo **2AXYY**: são do sexo masculino, geralmente altos e apresentam acne acentuada na adolescência.



O indica ausência de cromossomo.

4. A cromatina sexual

Em 1949, Murray Barr observou que células somáticas de fêmeas de mamíferos apresentavam no núcleo um corpúsculo que se corava intensamente. Nos machos, entretanto, esse corpúsculo não ocorria. Posteriormente, esse corpúsculo foi denominado **corpúsculo de Barr** ou **cromatina sexual**.

Vários estudos demonstraram que o corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo X que permanece condensado na interfase, estando, assim, inativo. A inativação estaria relacionada a um mecanismo chamado **compensação de dose**, que mantém constante a relação entre autossomos e cromossomos X tanto nos machos como nas fêmeas. Deve haver apenas um cromossomo X funcional

nas células somáticas. Assim, os machos, com apenas um X, não possuem cromatina sexual; já as fêmeas, que possuem dois cromossomos X, apresentam um corpúsculo de Barr, ficando com apenas um X funcional.

A verificação da presença do corpúsculo de Barr permite detectar anomalias cromossômicas relacionadas aos cromossomos sexuais. Os indivíduos com síndrome de Turner (XO), por exemplo, não apresentam esse corpúsculo, apesar de serem fenotipicamente femininos. Os indivíduos com síndrome de Klinefelter (XXY) apresentam o corpúsculo de Barr, apesar de serem fenotipicamente masculinos.

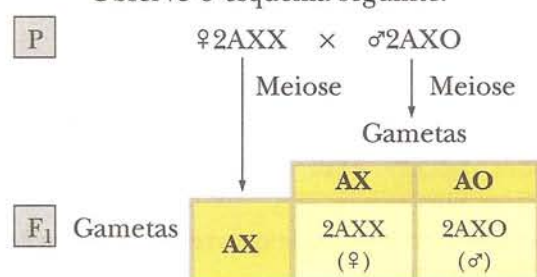
5. O sistema XO

Nesse sistema, os machos são **2AXO** e as fêmeas são **2AXX**.

Os machos são o sexo heterogamético, pois produzem dois tipos de gametas quanto aos cromossomos sexuais: um que apresenta o cromossomo X e outro que não contém cromossomo sexual. As fêmeas, por sua vez, são o sexo homogamético, pois todos os seus gametas possuem um cromossomo X.

O sistema XO ocorre em alguns insetos, es-

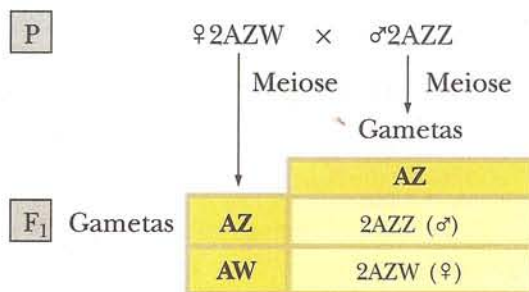
pecialmente em percevejos, gafanhotos e baratas. Observe o esquema seguinte:



6. O sistema ZW

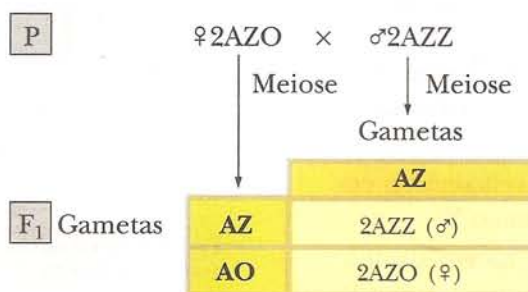
No sistema **ZW**, as fêmeas apresentam dois cromossomos sexuais diferentes, sendo o sexo heterogamético, enquanto os machos apresentam dois cromossomos sexuais iguais, sendo o sexo homogamético. Os cromossomos sexuais, nesse caso, são denominados **Z** e **W**. A utilização dessas letras é simplesmente uma convenção a fim de diferenciar esse sistema do sistema **XY**.

O sistema **ZW** de determinação do sexo ocorre em borboletas, mariposas, em alguns peixes e em várias aves.



7. O sistema ZO

Nesse sistema, a fêmea é **ZO** (heterogamética) e o macho é **ZZ** (homogamético). Ocorre em alguns répteis e raramente nas aves, como é o caso da galinha.



8. Sistemas de determinação do sexo que não envolvem cromossomos sexuais

Em formigas, abelhas e outros insetos da Ordem Hymenoptera, o sexo não é determinado pelos cromossomos sexuais, mas pelo número de conjuntos de cromossomos: as fêmeas, diplóides, originam-se da fecundação de um óvulo por um espermatozóide; já os machos, haplóides, originam-se de óvulos não-fecundados que se dividem e formam um indivíduo (**partenogênese**). Portanto, nesse caso a determinação do sexo depende da haploidia ou da diploidia.

No caso das abelhas, os óvulos fecundados (diplóides) podem dar origem às operárias, que são estéreis, ou à rainha, que é fértil, dependendo da quantidade e da qualidade do alimento recebido pela larva durante seu desenvolvimento. Dessa forma, o caráter esterilidade ou fecundidade das fêmeas está vinculado ao meio ambiente. Em uma colméia

há apenas uma fêmea fértil, que é a rainha. Os machos (haplóides) são férteis e produzem espermatozoides por mitose (nesse caso não ocorre meiose).

Nos répteis o sexo pode ser determinado por meio de cromossomos sexuais (determinação genotípica) ou pela ação do meio ambiente, em que a temperatura é o fator mais comum.

A determinação genotípica ocorre na grande maioria das serpentes e lagartos, em tuataras e em somente algumas espécies de quelônios.

A determinação sexual vinculada à temperatura ocorre em todos os crocodilianos e na maioria dos quelônios, sendo rara em lagartos e ausente no grupo das serpentes. Nesse processo o sexo é determinado de acordo com a temperatura média à qual os ovos estão submetidos durante o período de desenvolvimento embrionário. Em lagartos e crocodi-

los, temperaturas mais baixas determinam fêmeas, enquanto temperaturas mais altas determinam machos. No caso dos quelônios, porém, ocorre o inverso. A diferença de temperatura que favorece um sexo é pequena, da ordem de 1 a 2 °C.

SISTEMAS DE DETERMINAÇÃO DO SEXO QUE NÃO ENVOLVEM CROMOSSOMOS SEXUAIS

- **Haploidia e diploidia:**
 - macho: haplóide;
 - fêmea: diplóide.
Ocorre em abelhas e formigas.
- **Fatores ambientais:**
Verificados, por exemplo, em muitas espécies de quelônios e em todos os crocodilianos.

9. Genes localizados nos cromossomos sexuais

Os cromossomos sexuais emparelham-se na meiose. Como os cromossomos **X** e **Y** têm formas e tamanhos diferentes, seu emparelhamento na meiose é parcial.

Podem-se distinguir, assim, duas regiões nesses cromossomos, em função do emparelhamento nas células masculinas:

- **região homóloga**, onde há emparelhamento entre o cromossomo **X** e o cromossomo **Y**;
- **região não-homóloga**, onde não há emparelhamento entre o cromossomo **X** e o cromossomo **Y**.

Os genes que se encontram na região não-homóloga do cromossomo **X** apresentam um tipo de herança que chamamos de **herança ligada ao sexo** ou **herança ligada ao X**.

Nesse caso, como os machos possuem apenas um cromossomo **X**, não há alelos dos genes localizados na região não-homóloga desse cromossomo, sendo, por isso, chamados **hemizigóticos**. As fêmeas, entretanto, podem ser **homozigóticas** ou **heterozigóticas**, pois apresentam dois cromossomos **X** que se emparelham completamente.

Genes recessivos localizados nessa região não-homóloga do cromossomo **X** expressam-se fenotipicamente com maior frequência nos machos, pois basta o gene estar presente para seu efeito se manifestar. Nas fêmeas, esses genes recessivos só se manifestam em dose dupla (homozigose recessiva).

Os genes localizados na região não-homóloga do cromossomo **Y** são chamados de **genes holândricos** (*holo* = todos; *andrico* = masculino) e condicionam um tipo de herança chamado **herança restrita ao sexo** ou **herança ligada ao Y**, que só ocorre nos

machos. Nesse caso, também se fala em indivíduos hemizigóticos.



Esquema do emparelhamento dos cromossomos sexuais nas células masculinas (cores-fantasia).

9.1. Herança ligada ao X

Daltonismo

Um exemplo de herança ligada ao **X** na espécie humana é uma das formas de **daltonismo**, em que o indivíduo não consegue distinguir o verde do vermelho, vendo as duas cores em marrom. Esse é o tipo mais comum de daltonismo. O alelo que determina essa forma de daltonismo é recessivo e vamos representá-lo pela letra **d**.

Para a mulher manifestar daltonismo, ela precisa ser homozigótica recessiva, ou seja, o alelo **d** precisa estar em dose dupla. Para o homem, uma vez presente o alelo **d**, o daltonismo se manifesta. Por isso, a frequência de homens daltônicos na população é maior do que a de mulheres daltônicas.

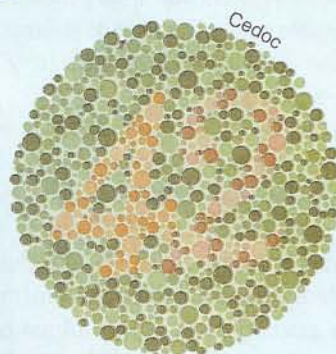
Os genótipos possíveis no locus do gene **d** são:

Sexo masculino	Sexo feminino
X^dY Fenótipo: daltônico	X^dX^d Fenótipo: daltônico
X^DY Fenótipo: normal	X^DX^D , X^DX^d Fenótipo: normal

Faça o teste das cores

Observe a figura ao lado e veja se você consegue distinguir o número nela representado. Que número é esse?

Os daltônicos não conseguem distinguir o número, pois não diferenciam as cores que o compõem.

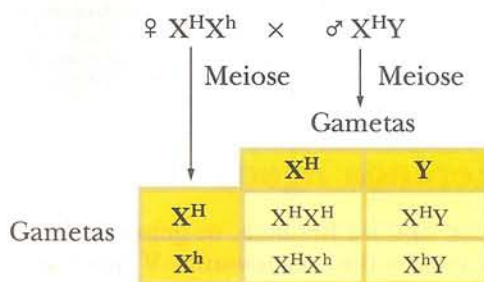


Hemofilia A

Outra anomalia determinada por um gene recessivo ligado ao **X** é a hemofilia A, doença que se caracteriza pela ausência de uma das proteínas que agem na coagulação do sangue. Para os hemofílicos, um pequeno corte na pele pode determinar hemorragia. Os avanços da Medicina têm possibilitado o aumento da sobrevivência dos hemofílicos por meio de transfusão de sangue com concentrados de fatores da coagulação.

Vamos supor um cruzamento entre uma mulher heterozigótica para hemofilia e um homem normal (figura ao lado).

As mulheres resultantes desse cruzamento serão todas normais, mas 50% delas serão heterozigóticas e, portanto, portadoras do gene para hemofilia. Os homens poderão ser normais ou hemofílicos, em igual proporção.



Distrofia muscular progressiva do tipo Duchene

Essa anomalia é determinada por alelo recessivo, sendo caracterizada pela destruição progressiva da musculatura esquelética, e leva o indivíduo à morte. Na infância, os indivíduos parecem normais, mas à medida que atingem a adolescência vão perdendo a musculatura e não sobrevivem.

Cromatina sexual e herança ligada ao X

Vamos analisar agora o que ocorre com as mulheres heterozigóticas para anomalias ligadas ao **X**.

Nesses casos, algumas células terão um cromossomo **X** ativo, portador do alelo dominante, ficando o outro cromossomo **X**, portador do alelo recessivo, condensado na forma de cromatina sexual; outras células terão um **X** ativo, portador do alelo recessivo, ficando o outro, portador do alelo dominante, condensado na forma de cromatina sexual.

As células portadoras do alelo dominante manifestarão a característica determinada por esse alelo e as portadoras do alelo recessivo manifestarão a característica determinada por esse alelo. Assim, as células de uma mulher heterozigótica para essas anomalias serão geneticamente diferentes entre si. Isso nunca acontece com as células do corpo dos homens, pois eles são sempre hemizigóticos.

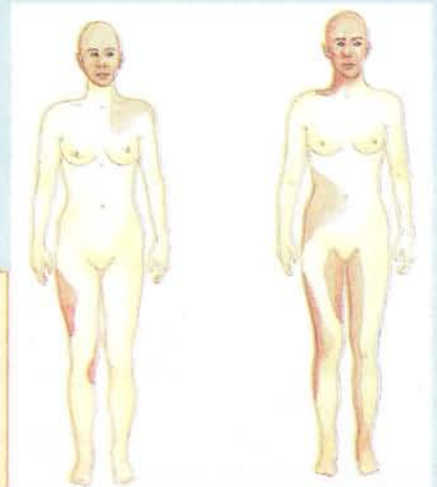
Mulheres heterozigóticas para a distrofia muscular progressiva ($X^D X^d$) podem apresentar o quadro clínico da doença quando um maior número de suas células portam o cromossomo X^d ativo. Essa é uma condição rara, pois a imensa maioria das mulheres heterozigóticas para a distrofia são normais. Elas possuem, em média, 50% de suas células com o X^D ativo e 50% com o X^d ativo. Essas porcentagens são suficientes para que o fenótipo seja normal.

A inativação do **X** é aleatória: em algumas células é inativado o cromossomo **X** que veio da mãe, e em outras o **X** que veio do pai. Esse processo ocorre bem no início do desenvolvimento embrionário e surpreendentemente persiste em todas as mitoses seguintes. Como resultado, o corpo das mulheres é uma mistura ou **mosaico** de células distintas com relação ao **X** ativo, pois algumas possuem o **X** ativo que veio da mãe e outras o **X** ativo que veio do pai.

Embora isso ocorra em todas as mulheres, só se detecta esse mosaico quando a mulher é heterozigótica para genes ligados ao **X** relacionados a características que se expressem no aspecto externo do corpo, pois algumas de suas células terão o alelo recessivo e outras, o alelo dominante.

Um exemplo disso é a **displasia ectodérmica anidróica**, relacionada com a distribuição de glândulas sudoríparas no corpo. A mulher heterozigótica apresenta um mosaico de setores do corpo com e sem essas glândulas: em algumas áreas é o alelo dominante do gene que se manifesta e há formação de glândulas sudoríparas; em outras áreas é o alelo recessivo e não há formação de glândulas sudoríparas.

Esquema mostrando o mosaicismo somático em mulheres heterozigóticas para a **displasia ectodérmica anidróica**. As áreas sem glândulas sudoríparas estão indicadas em escuro e representam locais onde o cromossomo **X** que contém o alelo dominante está condensado, formando o corpúsculo de Barr. A extensão e a localização dessas áreas são aleatórias, mas constantes na mesma mulher ao longo de sua vida (cores-fantasia).



9.2. Herança ligada ao Y

Nesse tipo de herança, os genes estão localizados na região do cromossomo **Y** que não tem homologia com o cromossomo **X**. O cromossomo **Y** humano possui pouquíssimos genes, e todos eles estão relacionados à formação e ao funcionamento dos testículos. A parte do **Y** que determina a masculinidade corresponde ao gene chamado **SRY** (do inglês *sex-determining region Y*, que significa região do **Y** que determina o sexo). A proteína codificada pelo **SRY** desencadeia o processo de masculinização, aparentemente ativando genes em vários cromossomos. Em seguida, a testosterona e outras substâncias produzidas durante o processo originam as características sexuais secundárias do sexo masculino.

Cientistas concluíram que os cromossomos sexuais humanos surgiram como pares idênticos, e depois o que deu origem ao **Y** sofreu intensa modificação e redução de tamanho. De importante, o **Y** atualmente possui apenas o gene que define o sexo masculino e outros genes com influência na capacidade reprodutiva do homem. O restante desse cromossomo é formado por seqüências de bases nitrogenadas que não codificam proteínas, mas que são importantes para que ele emparelhe com o **X** e não se perca na meiose. Esse emparelhamento ocorre apenas por uma de suas extremidades, que corresponde a 5% do cromossomo **Y**. Apesar de pequena, essa extensão garante que **X** e **Y** sejam distribuídos de forma adequada em cada espermatozoide.

10. Outros mecanismos de herança relacionada ao sexo

Existem variações fenotípicas relacionadas com o sexo envolvendo genes que podem estar localizados em quaisquer dos autossomos, ocorrendo, assim, nos dois sexos. Esses genes podem expressar-se de modo diferente em cada sexo, em função principalmente de hormônios sexuais. Vamos analisar alguns exemplos.

10.1. Herança com efeito limitado ao sexo

Esses casos envolvem genes que ocorrem nos dois sexos, mas só se manifestam em um deles. O efeito desses genes está, portanto, limitado ao sexo do indivíduo. Um exemplo é a manifestação dos

caracteres sexuais secundários no homem e na mulher.

A **hipertricose auricular**, que corresponde ao crescimento excessivo de pêlos na orelha, é outro exemplo de gene autossômico com efeito limitado ao sexo. Esses genes estão presentes tanto em homens como em mulheres, mas só se manifestam nos homens.

É interessante notar que até algum tempo atrás a hipertricose auricular era interpretada como um tipo de herança ligada ao cromossomo Y. Hoje se sabe que muitas das características que eram atribuídas a genes localizados na região não-homóloga do Y em relação ao X, ou seja, genes restritos ao sexo (ou ao Y), são na verdade condicionadas por genes autossômicos, com efeito limitado ao sexo.

10.2. Herança influenciada pelo sexo

Caracteriza-se pela variação de dominância e recessividade de alelos em função do sexo do indivíduo: um alelo tem efeito dominante em um sexo e efeito recessivo em outro.

Um exemplo desse tipo de herança é a calvície na espécie humana. Essa característica é determinada por um alelo C_1 , localizado em cromossomo autossômico, dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Ausência de calvície é determinada por um alelo C_2 , recessivo nos homens e dominante nas mulheres. Assim, o mesmo genótipo manifesta-se de forma diferente em cada sexo.

Genótipo	Fenótipo
C_1C_1	Homem: calvo Mulher: calva
C_1C_2	Homem: calvo Mulher: não-calva
C_2C_2	Homem: não-calvo Mulher: não-calva

Portanto, a calvície é uma característica influenciada pelo sexo. Devemos lembrar, porém, que a calvície também pode ser determinada por outras causas, como doenças, radiações e problemas com a glândula tireóide, casos em que não há interferência genética.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Faça uma tabela em que constem os tipos de determinação do sexo de acordo com cromossomos sexuais, especificando para cada tipo o grupo animal em que ocorre e qual é o sexo homo ou heterogamético.

2. Muitas vezes os problemas de Genética solicitam a identificação do mecanismo de herança envolvido: se autossômica ou relacionada com o sexo. Nesses casos, devemos primeiramente analisar se existem diferenças na manifestação do caráter em homens e em mulheres. Se não houver, a herança é autossômica. Se houver, é relacionada com o sexo. Neste último caso, deve-se verificar qual dos mecanismos está envolvido. Resolva, então, o seguinte problema:

O raquitismo resistente à vitamina D é uma doença hereditária, sendo que na prole de homens afetados, todas as meninas são afetadas e todos os meninos são normais. Monte um esquema para explicar qual o mecanismo de herança envolvido.

3. Na espécie humana, um certo tipo de topete com fios de cabelos brancos parece sugerir uma modalidade de herança influenciada pelo sexo, com os genes atuando de modo diferente em homens e em mulheres: o gene que produz o topete com fios brancos é dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Usando a letra B para o gene que produz o topete com fios brancos e a letra B' para seu alelo que determina cabelos de cor uniforme, indique:

a) todos os possíveis genótipos e os respectivos fenótipos produzidos por esses alelos, para os homens e para as mulheres;

b) as proporções genotípicas e fenotípicas esperadas do cruzamento entre uma mulher com topete e um homem sem topete.

4. Uma mulher herda de seu pai a mesma quantidade de DNA que herda de sua mãe? E um homem? Para responder a essas perguntas, atente para o fato de que estamos falando em DNA, e não em cromossomos. Lembre-se de como ocorre a fecundação na espécie humana e de quais organelas citoplasmáticas contêm DNA.

5. Explique o que é o corpúsculo de Barr e sua relação com o fato de as mulheres serem mosaicos relacionados aos genes ligados ao X. Monte um esquema para explicar a formação desses mosaicos.

6. Numa análise da presença de cromatina sexual em um grupo de indivíduos da espécie humana verificaram-se duas situações anômalas:

— um indivíduo do sexo masculino com cromatina sexual;
— um indivíduo do sexo feminino sem cromatina sexual.

Explique esses dois resultados.

7. Um gato doméstico macho tem pelagem de duas cores, no máximo. Já a fêmea pode apresentar pelagem de até três cores. Vamos ver como isso acontece.



Antonio Carlos de Freitas/Opção Brasil Imagens

Fotografia de uma gata de três cores.

Na determinação da cor dos pêlos dos gatos atuam três pares de alelos com segregação independente: dois desses pares são autossômicos e um deles é ligado ao X. Os pares autossômicos são:

- Par 1 { BB, Bb — determinam pelagem uniforme, sem manchas brancas;
 bb — determina pelagem com manchas brancas.
- Par 2 { MM, Mm — determinam pelagem preta;
 mm — determina pelagem marrom.

O par ligado ao X é:

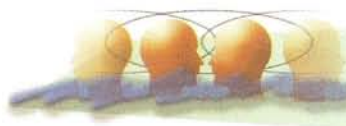
- X^AX^a ou X^AX^A : determinam pelagem laranja. O alelo A interage com os alelos autossômicos M e m , sendo epistático sobre eles; quando o alelo A estiver presente, a pelagem sempre será laranja. O alelo a , entretanto, não interfere na manifestação dos alelos autossômicos B ou b . Assim, não interfere no fato de a pelagem apresentar ou não manchas brancas;
- X^aX^a : não determina pelagem laranja e deixa que os alelos M ou m se manifestem.

Em fêmeas homozigóticas X^AX^A a pelagem que surge é laranja. Dependendo dos alelos para manchas brancas, a pelagem pode ser laranja uniforme (se forem BB ou Bb) ou laranja com manchas brancas (se forem bb).

Em fêmeas homozigóticas X^aX^a a cor do pêlo vai depender dos alelos M e m , pois o alelo a não é epistático sobre eles. Nesses casos, se as fêmeas forem MM ou Mm , terão pêlos pretos; se forem mm terão pêlos marrons. Dependendo dos alelos para manchas brancas, a pelagem pode ser toda preta (se forem BB ou Bb), toda marrom (se forem BB ou Bb), preta com manchas brancas (se forem bb) ou marrom com manchas brancas (se forem bb).

Em todos esses casos só existem no máximo duas cores de pêlo na mesma gata.

As gatas de três cores são as heterozigóticas X^AX^a , que são também homozigóticas recessivas (bb) para o par de alelos responsável pela presença de manchas brancas na pelagem. Explique por que, considerando também se as gatas forem MM , Mm ou mm .



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Anomalias relacionadas ao sexo em seres humanos

A determinação sexual humana pode sofrer influência de outros fatores, o que gera o aparecimento de algumas síndromes como as mencionadas a seguir.

Síndrome da feminização testicular

Essa síndrome é muito rara, ocorrendo em cerca de 1 a cada 65 mil nascimentos masculinos. Acontece em função de um alelo recessivo ligado ao X que determina uma disfunção no receptor de hormônios masculinos, de modo que esses hormônios não atuam nos órgãos-alvos envolvidos com a masculinidade. As pessoas afetadas por essa síndrome são cromossomicamente do sexo masculino (XY), mas desenvolvem-se fenotipicamente como mulheres. Possuem mamas

bem-desenvolvidas como uma mulher, apresentam comportamento feminino, genitália externa feminina e vagina em fundo cego. Entretanto, não possuem útero ou ovários, sendo assim estéreis. Possuem testículos, que ficam localizados ou nos grandes lábios ou dentro do abdome. Essa condição não é revertida por tratamento hormonal, pois os receptores de hormônios masculinos não respondem ao tratamento.

Hiperplasia congênita da supra-renal

Essa doença ocorre em indivíduos XX , portanto geneticamente mulheres, mas que apresentam uma quantidade de hormônios masculinizantes muito acima do nível normal devido a uma disfunção da glândula supra-renal durante o desenvolvimento embrio-

nário. Com isso, apesar de serem **XX**, possuem genitália externa com características masculinas, com o desenvolvimento de pênis.

Ao nascer, a criança já apresenta genitália externa semelhante à masculina, mas internamente possui toda a estrutura do sistema genital feminino, com

ovários e útero. Por possuírem pênis, essas crianças são confundidas com indivíduos do sexo masculino e criadas como homens, até que na adolescência começam a surgir os caracteres externos femininos. Esses casos são passíveis de cirurgia, tornando o indivíduo uma mulher fértil.

- Discuta com seus colegas e seu professor se os casos aqui descritos poderiam ser diagnosticados com base na análise da presença de corpúsculos de Barr nas células somáticas dos indivíduos.



TESTES

1. (UFSE) Indivíduos cujo cariótipo é 47,XX, + 21 ou 47,XY, + 21 apresentam anomalias que constituem a síndrome de Down. Esses cariótipos resultam de:

- mutação gênica no cromossomo 21.
- deficiência em um dos cromossomos 21.
- não-disjunção dos cromossomos 21 na divisão celular.
- translocação de partes dos cromossomos 21.
- inversão de uma parte de um dos cromossomos 21.

2. (PUC-SP) Uma mulher triplo-X é fértil e produz óvulos normais e óvulos com dois cromossomos X. Sendo casada com um homem cromossomicamente normal, essa mulher terá chance de apresentar:

- apenas descendentes cromossomicamente normais.
- apenas descendentes cromossomicamente anormais.
- 50% dos descendentes cromossomicamente normais e 50% cromossomicamente anormais.
- 25% dos descendentes cromossomicamente normais e 75% cromossomicamente anormais.
- 75% dos descendentes cromossomicamente normais e 25% cromossomicamente anormais.

3. (Unifor-CE) As frases a seguir referem-se à determinação do sexo na espécie humana.

- O sexo é primariamente determinado, no momento da fecundação, pelo tipo de cromossomo sexual do espermatozoide.
- A presença do cromossomo Y é que determina as características masculinas.
- Um indivíduo com apenas um cromossomo X (XO) tem fenótipo feminino.

Pode-se afirmar que, dessas frases:

- apenas I é correta.
- apenas II é correta.
- apenas I e II são corretas.
- apenas II e III são corretas.
- I, II e III são corretas.

4. (Puccamp-SP) A análise do cariótipo de exemplares de uma dada espécie revelou que o número diplóide é idêntico em ambos os sexos e que o sexo heterogamético é o fe-

minino. Com base nesses dados, é possível dizer que o sistema de determinação do sexo nessa espécie é do tipo:

- XX : XY.
- XX : XO.
- XX : YO.
- ZZ : ZW.
- ZZ : ZO.

5. (Unisinos-RS) Um casal leva o filho de 16 anos a um médico geneticista. Este, após observações, constata as seguintes características fenotípicas: alta estatura, quociente intelectual abaixo da média, acne bem acentuada, braços e pernas muito longos, pouco pêlo no corpo e esterilidade após um espermograma. Posteriormente foi montado um cariótipo que revelou dois cromossomos X e um cromossomo Y. O geneticista então concluiu que o rapaz era portador da síndrome de:

- Turner.
- Down.
- Barr.
- Klinefelter.
- superfêmea.

6. (Fuvest-SP) Uma abelha rainha tem os seguintes pares de genes alelos que se segregam independentemente: AaBbDdEe. Sabendo-se que os zangões surgem de óvulos que se desenvolvem por partenogênese, quantos genótipos diferentes, relativos a esses quatro pares de genes, podem apresentar os zangões filhos dessa rainha?

- um
- dois
- quatro
- oito
- dezesesseis

7. (UFPB) Fazendo-se um estudo sobre uma determinada doença, observou-se que **todos** os homens afetados, casados com mulheres normais, tinham filhas **sempre** afetadas e filhos **sempre** normais. Esses dados indicam que o tipo de herança envolvido na transmissão da doença é:

- autossômica recessiva.
- autossômica dominante.
- ligada ao sexo, com gene dominante localizado no cromossomo X.
- ligada ao sexo, com gene localizado no cromossomo Y.
- ligada ao sexo, com gene recessivo localizado no cromossomo X.

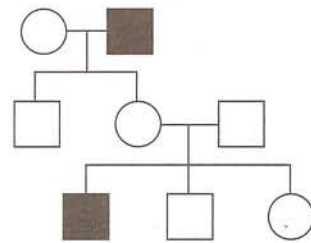
8. (UFPI) Como exemplo de característica na espécie humana, determinada por genes localizados no cromossomo Y, ou seja, por genes holândricos, temos:

- a) a diferenciação dos testículos. c) a hemofilia.
b) o aparecimento do corpúsculo de Barr. d) o daltonismo. e) o albinismo.

9. (Unifor-CE) O heredograma ao lado apresenta uma família onde ocorre uma doença rara na população.

O padrão de herança da doença é:

- a) ligado ao X, recessivo.
b) ligado ao Y.
c) autossômico dominante.
d) autossômico recessivo.
e) ligado ao X, dominante.



10. (UFSC) Um pesquisador verificou que o núcleo celular dos óvulos de uma certa espécie de formiga tem 4 cromossomos e uma quantidade X de DNA. Considerando-se que os machos de formiga desenvolvem-se por partenogênese e são haplóides, que quantidade de DNA e de cromossomos se espera encontrar no núcleo dos espermatozoides dessa espécie?

- a) 2X de DNA e 8 cromossomos. c) X de DNA e 4 cromossomos. e) $\frac{1}{2}$ X de DNA e 2 cromossomos.
b) 2X de DNA e 4 cromossomos. d) X de DNA e 2 cromossomos.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (PUC-SP) Em cada 1 000 nascimentos ocorre um bebê que tem 47 cromossomos, com um Y adicional (47,XYY). O erro que leva à formação dos gametas anormais que dão origem a tais crianças acontece:

- a) na ovulogênese ou na espermatogênese?
b) na primeira ou na segunda divisão da meiose?

2. (Unicamp-SP) As abelhas vivem em colônias constituídas por indivíduos de três castas: a rainha, os zangões e as operárias. Sabendo-se que as fêmeas férteis de *Apis mellifera* têm 32 cromossomos, indique o número cromossômico dos indivíduos de cada uma das castas e descreva como ocorre a diferenciação em castas nesses insetos.

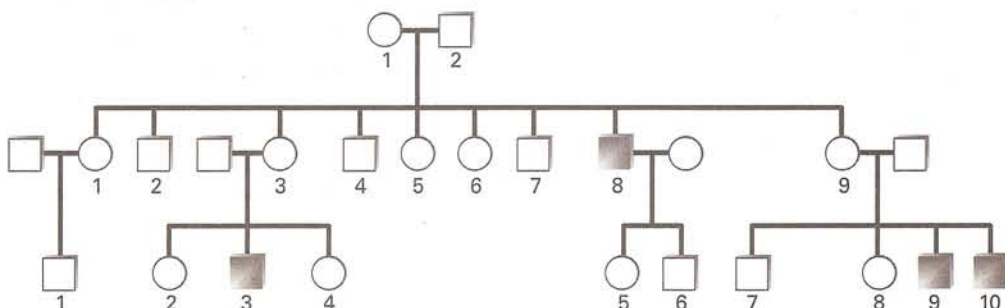
3. (Unesp-SP) Na década de 1940 descobriu-se que algumas células retiradas de mulheres apresentavam, no núcleo interfásico, um pequeno corpúsculo de cromatina intensamente corado. Esse corpúsculo é conhecido hoje como cromatina sexual ou corpúsculo de Barr.

- a) A que corresponde tal corpúsculo e em que tipo de células (somáticas ou germinativas) ele aparece?
b) Qual a sua importância e por que ele não ocorre nas células masculinas?

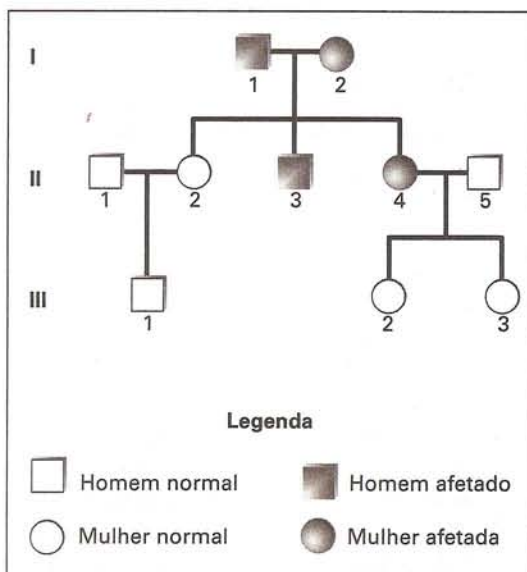
4. (UFCE) Analise as seguintes situações com relação à herança genética:

- I — Uma dada característica determinada por um gene recessivo manifesta-se nos machos, bastando para isso a simples presença de um único alelo.
II — Alguns genes, embora presentes em ambos os sexos, manifestam-se apenas em machos ou em fêmeas.
III — Alguns genes variam a sua expressão de dominância e de recessividade em função do sexo do indivíduo.

- a) Cite o tipo de herança em cada situação mencionada anteriormente.
b) Em qual das situações anteriores pode-se enquadrar o heredograma a seguir, onde os quadrados pretos simbolizam os machos que apresentam o fenótipo em questão?



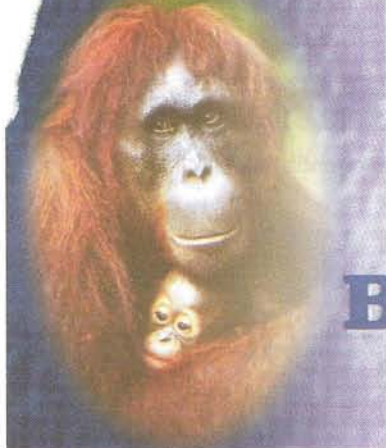
5. (Fuvest-SP) O heredograma a seguir representa uma família com pessoas afetadas por uma doença hereditária:



- a) A doença tem herança dominante ou recessiva? Por quê?
b) A doença tem herança autossômica ou ligada ao cromossomo X? Por quê?

6. (PUC-SP) Nas espécies animais é comum falar-se em **herança autossômica** e em **herança ligada ao sexo**.

- a) Qual a diferença básica entre esses dois mecanismos de herança?
b) Por que, nos mamíferos em geral, uma característica recessiva e ligada ao cromossomo X se manifesta com maior frequência nos machos?



Biotecnologia

1. Introdução

Desde a Antiguidade o ser humano vem selecionando e utilizando organismos com características que lhe interessam sob algum ponto de vista — alimentar, medicinal, ornamental ou econômico. Para isso, o ser humano desenvolveu ao longo dos anos uma ciência que passou a ser denominada **Biotechnologia**, composta de numerosas técnicas por meio das quais não apenas seleciona, mas também modifica organismos.

Biotechnologia: conjunto de técnicas que permitem a seleção e a modificação de organismos.

A utilização de certas espécies de fungos na produção de pães, vinhos e antibióticos é um exemplo de Biotecnologia.

Outro exemplo é a seleção de indivíduos que apresentam características vantajosas mantidas por reprodução assexuada. Por esse procedimento foram desenvolvidas muitas variedades de plantas usadas na alimentação humana, como é o caso da laranja-da-baía ou laranja-de-umbigo. Acredita-se que essa laranja, tão amplamente difundida em todo o país, tenha se originado de um único pé que pas-

sou a ser cultivado por reprodução assexuada (enxertia).

Já há muitos anos o ser humano vem criando e aperfeiçoando técnicas de modificação de organismos com base na **reprodução seletiva**.

Nesse processo são selecionados indivíduos que apresentam as características desejadas e estimula-se o cruzamento desses indivíduos entre si, excluindo-se os demais. Por esse mecanismo realiza-se o **melhoramento genético** das espécies permitindo, por exemplo, a produção de plantas cujos frutos sejam mais suculentos e com sementes menores, a criação de diversas raças de cães e gatos, o desenvolvimento de linhagens de bovinos produtores de carne de melhor qualidade ou de maior quantidade de leite.

Nas últimas décadas a Biotecnologia tem se desenvolvido muito. Um marco importante nesse desenvolvimento foi a descoberta da estrutura e das propriedades do DNA por Watson e Crick, em 1953. A partir daí, a Genética e a Biologia molecular passaram a se desenvolver em ritmo mais acelerado, possibilitando a incorporação de técnicas de manipulação do DNA *in vitro* à Biotecnologia. Essas técnicas ficaram conhecidas como **Engenharia genética**, assunto que será discutido neste capítulo.

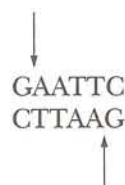
2. Enzimas de restrição

A descoberta em células bacterianas de determinadas enzimas, chamadas **enzimas de restrição**, foi um dos grandes avanços na manipulação do DNA. Nas bactérias essas enzimas estão relacionadas com a defesa contra vírus, pois elas têm a propriedade de “cortar” em vários trechos o DNA desses invasores, tornando-os inativos e protegendo a bactéria.

Quando uma enzima de restrição reconhece uma sequência específica de nucleotídeos de uma molécula de DNA, ela “corta” a molécula nesse trecho. Como no DNA existem vários trechos reconhecidos pela enzima, ao final do processo haverá diversos fragmentos isolados da molécula.

Várias enzimas de restrição já foram purificadas pelos cientistas, que também conseguiram determinar os nucleotídeos com os quais elas reagem.

Uma dessas enzimas é a chamada **Eco RI**, que “corta” o DNA entre as bases **G** e **A** toda vez que encontra na dupla-hélice as seguintes seqüências:



3. Identificação de pessoas

A impressão digital genética ou DNA *fingerprint* é feita com base em certos trechos do DNA cujas seqüências especiais de nucleotídeos são exclusivas para cada pessoa e transmitidas de pais para filhos, de acordo com a herança mendeliana.

Esses trechos do DNA são “cortados” por certas enzimas de restrição e separados em uma placa de gelatina por uma técnica chamada **eletroforese**. Após a separação, adicionam-se ao meio “sondas” (trechos conhecidos de DNA) com bases nitrogenadas radiativas. As bases dessas “sondas” emparelham-se com os segmentos isolados de DNA, marcando-os com a radiatividade.

A seguir, a placa de gelatina é colocada, no escuro, sob um filme fotográfico virgem. Após algum tempo, cada “série” deixa sua impressão no filme. O resultado é uma imagem fotográfica semelhante a um código de barras.

Esses códigos são tão exclusivos de um indivíduo quanto suas impressões digitais, não existindo dois indivíduos com o mesmo “código de barras” (com exceção dos gêmeos univitelinos).

Essa técnica tem sido muito utilizada em testes de investigação de paternidade, pois os testes realizados com base nos grupos sanguíneos não são definitivos, uma vez que podem negar a paternidade, mas não podem confirmá-la.

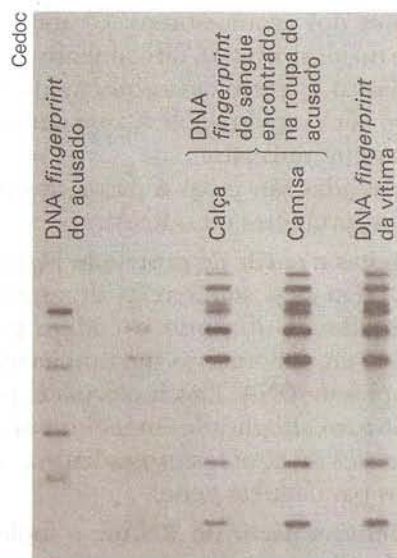
O DNA *fingerprint* permite confirmar a paternidade com 99,9% de certeza, comparando-se o DNA da criança, o da mãe e os dos prováveis pais. Esse tipo de estudo é possível pois o padrão de diferentes tamanhos das seqüências isoladas é herdado da mesma maneira que os genes: o indivíduo recebe metade do padrão do pai e metade da mãe.

Com base nessas informações, comparam-se os padrões de seqüências de DNA da criança, da mãe e dos possíveis pais. O pai verdadeiro será aquele cujos padrões estiverem registrados no DNA da criança.



Fotografia de teste de paternidade. Compare os códigos de barras da mãe (M) e do bebê (B) com o código de barras dos dois prováveis pais (P1 e P2). O bebê deve ter 50% do padrão de barras da mãe e 50% do padrão de barras do pai, que, no caso, é o homem número 2 (P2).

Os testes de DNA têm sido utilizados também para solucionar crimes, como exemplificado nas figuras a seguir:



Compare na fotografia o código de barras de uma vítima de assassinato com o obtido a partir do sangue encontrado nas roupas de um suspeito pelo crime. Veja que o código de barras coincide, indicando que o sangue presente na roupa do suspeito é o da vítima. O código de barras do suspeito é muito diferente do obtido a partir de amostras do sangue encontrado em sua roupa. Isso prova que o suspeito, no mínimo, entrou em contato com a pessoa assassinada no momento de sua morte.



Fotografia de teste de DNA. Em um caso de estupro foi feito o DNA *fingerprint* da vítima, do sêmen encontrado na vagina e de três suspeitos. Veja que o código de barras do suspeito número 1 coincide com o obtido a partir do sêmen, confirmando que ele foi o culpado pelo estupro.

4. O mapeamento dos genes nos cromossomos

Esse mapeamento é feito por meio de uma técnica chamada **hibridação *in situ***, que é a união de sondas conhecidas de DNA, marcadas com corantes, com os genes dos cromossomos. Chama-se *in situ* por ser feita no local, ou seja, diretamente no cromossomo metafásico, e o resultado observado ao microscópio óptico com luz ultravioleta, que destaca a presença do corante utilizado.

Essas sondas são feitas a partir dos produtos do gene — as proteínas ou o RNAm:

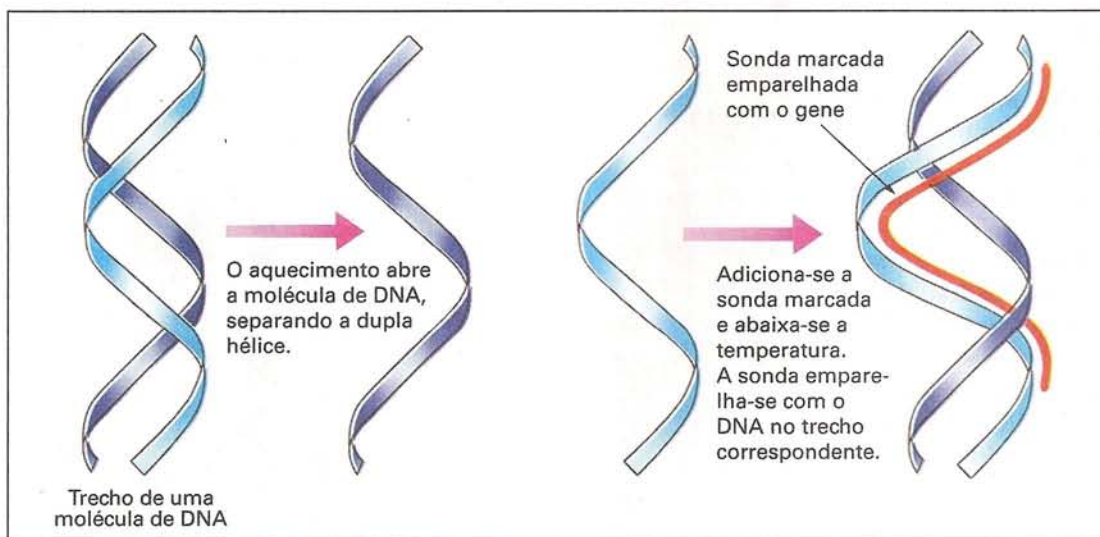
- **sondas feitas a partir de proteínas:** algumas proteínas já têm suas seqüências de aminoácidos determinadas. Utilizando o código genético, constrói-se em laboratório uma molécula de cadeia simples de DNA. Essa molécula é, portanto, o próprio gene. Replicada em meio com corantes fluorescentes ou com fósforo radiativo, obtêm-se as sondas para aquele gene;
- **sondas feitas a partir do RNAm:** a molécula de RNAm é a transcrição de um gene e traz as mesmas informações que ele. Quando se quer estudar um determinado gene, procura-se manipular células em que ele está em intensa atividade, sendo transcrito em um grande número de moléculas de RNAm. Com isso, consegue-se mais facilmente isolar aquele RNA para estudo. Esse RNAm é isolado e transferido para um meio

que contém nucleotídeos e uma enzima denominada **transcriptase reversa** (isolada de retrovírus). Essa enzima faz com que, de uma molécula de RNA, seja formada uma molécula de cadeia simples de DNA.

A molécula de DNA assim formada é denominada DNA complementar, pois possui uma cadeia simples de nucleotídeos, complementar à cadeia de nucleotídeos do RNA. Multiplicada em meio que contenha fósforo radiativo ou compostos fluorescentes, essa molécula de DNA constitui a sonda empregada para localizar o gene no cromossomo.

Vamos ver agora como é feita a localização do gene por meio da hibridação *in situ*.

Células retiradas de um organismo são cultivadas em meios apropriados de modo que passem a se dividir intensamente por mitose. Interrompe-se a mitose na metáfase utilizando a colchicina, que impede a formação do fuso mitótico. Isolam-se os cromossomos metafásicos, que são colocados sobre uma lâmina. Submete-se a preparação ao aquecimento para que a dupla hélice do DNA se abra. Em seguida, são colocadas as sondas, e o material é resfriado e submetido à ação de enzimas para que se estabeleça a cadeia dupla do DNA. A sonda emparelha-se com os nucleotídeos do gene, que fica, assim, marcado.

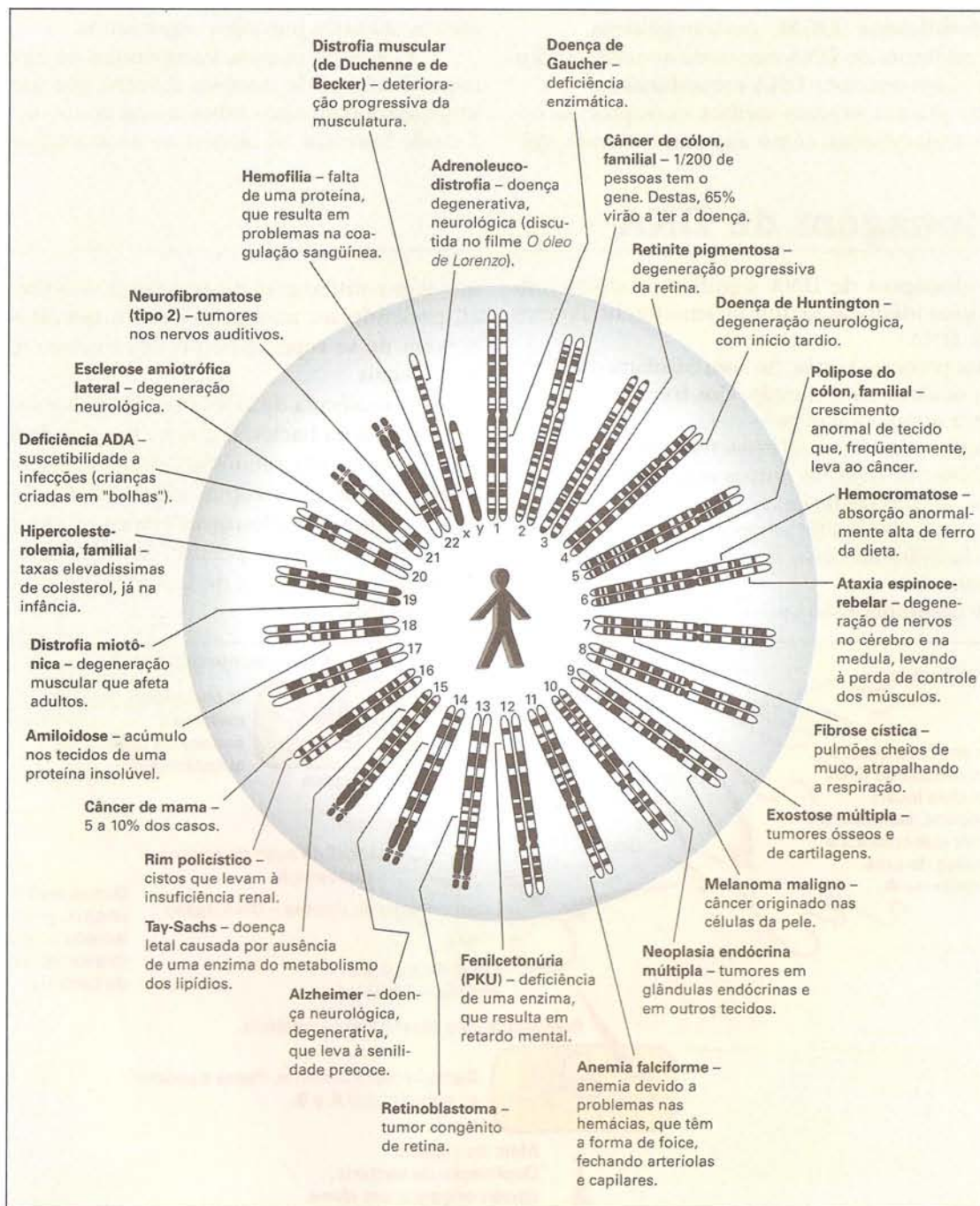


Esquema simplificado mostrando como se pode localizar um gene no DNA usando sondas marcadas (cores-fantasia).

Numa mesma preparação podem ser empregadas diferentes sondas, marcadas com corantes fluorescentes de cores diferentes, o que permite mapear vários genes ao mesmo tempo.

O Projeto Genoma Humano já localizou nos cromossomos muitos genes, mas ainda há muito a ser feito.

Veja no esquema a seguir a localização de alguns dos genes responsáveis por anomalias genéticas:



Esquema da localização aproximada de alguns genes humanos relacionados a certas doenças.

5. DNA recombinante e organismos transgênicos

Além de "cortar" a molécula de DNA em locais específicos com o uso de enzimas de restrição, os cientistas têm conseguido inserir segmentos isolados em outra molécula de DNA, com o uso de enzimas chamadas **DNA ligases**.

Utilizando essa técnica, tem sido possível manipular geneticamente indivíduos, alterando suas moléculas de DNA. Essas alterações podem dar-se no sentido de introduzir no DNA de indivíduos de uma

espécie trechos do DNA de indivíduos pertencentes a outra espécie, originando os **organismos geneticamente modificados (OGM)** ou **transgênicos**.

A molécula de DNA associada ao novo trecho inserido é denominada **DNA recombinante**.

Nas plantas existem muitos exemplos de organismos transgênicos, como algodão e tomate, que

portam e manifestam genes de bactérias que lhes conferem resistência a predadores, sendo, assim, menos atacadas por esses organismos.

O uso de plantas transgênicas na agricultura tem sido objeto de intensos debates, pois ainda existem questionamentos sobre se elas fazem ou não mal à saúde humana ou mesmo ao meio ambiente.

6. Clonagem de DNA

A clonagem de DNA significa produzir inúmeras cópias idênticas de um mesmo trecho da molécula de DNA.

Esse processo tem início com o isolamento, pela ação das enzimas de restrição, dos trechos do DNA ou genes a serem clonados.

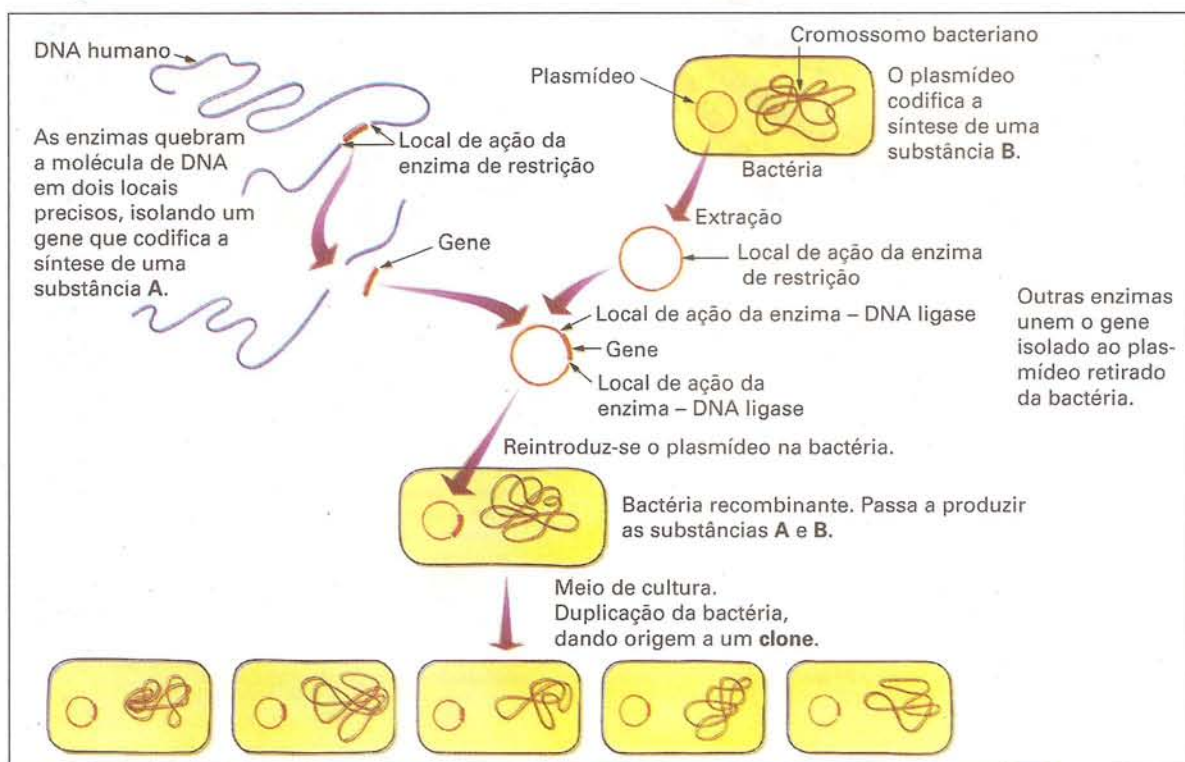
Depois de isolados, esses trechos podem ser introduzidos no DNA de outros organismos, principalmente vírus e bactérias.

No caso das bactérias, esses genes ou trechos de DNA isolados são inseridos no plasmídeo desses organismos.

Os plasmídeos são moléculas menores de DNA

que não contêm genes essenciais à vida das bactérias, podendo ser manipulados sem que as bactérias deixem de se reproduzir ou desenvolver suas atividades vitais.

A molécula de DNA recombinante formada é introduzida na bactéria, que ao se reproduzir multiplica a molécula recombinante, dando origem a grande número de cópias idênticas. Esse processo recebe o nome de **clonagem gênica** ou **clonagem de DNA**. Desse modo é possível produzir grande número de cópias exatas de um mesmo gene ou trecho do DNA.



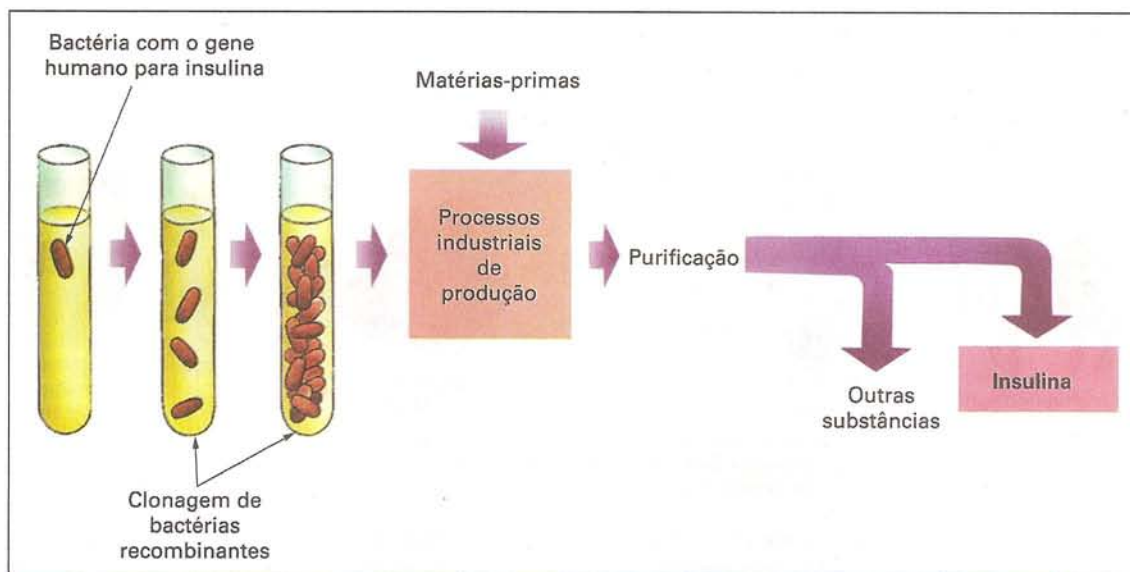
Esquema simplificado da formação de DNA recombinante e sua clonagem em bactérias (cores-fantasia).

Utilizando essa técnica para clonar vários trechos das moléculas de DNA de uma espécie é possível formar uma **biblioteca de DNA**.

Alguns hormônios da espécie humana já são produzidos por meio de técnicas de clonagem como a descrita. Um exemplo é a insulina, hormônio fundamental no metabolismo do açúcar. Sua síntese é determinada geneticamente, e os indivíduos que não têm o alelo para esse hormônio são portadores de uma forma de diabetes em que a pessoa não produz insulina.

Hoje já é possível produzir insulina clonando o gene humano em bactérias e estimulando-o a entrar em atividade. Dessa forma são produzidas quantidades consideráveis desse hormônio, posteriormente isolado e purificado para a utilização humana.

Essa insulina é idêntica à sintetizada pelo pâncreas humano, o que elimina o risco de qualquer reação alérgica pelo diabético, que antes só podia contar com a insulina extraída dos pâncreas de ratos criados em laboratório ou de bois e porcos obtidos em matadouros.



Esquema da produção de insulina por Engenharia genética. (Elementos representados fora de proporção.)

7. Clonagem de organismos multicelulares

A clonagem de organismos multicelulares pode ser realizada de duas maneiras:

- interferindo-se em processos naturais de reprodução;
- trabalhando-se a partir de células somáticas que normalmente não atuam nos mecanismos reprodutivos.

7.1. Clonagem a partir de mecanismos normais de reprodução

No caso das plantas, o procedimento mais utilizado é a produção de indivíduos idênticos por reprodução assexuada.

No caso de animais, como por exemplo os mamíferos, estimula-se em laboratório o surgimento de gêmeos monozigóticos. Para isso, selecionam-se os animais que apresentam as características desejadas, faz-se a coleta de sêmen e ovócitos e promove-se a fecundação no próprio laboratório.

Assim que o zigoto se forma e que as primeiras divisões celulares se iniciam, as células origina-

das são separadas artificialmente e implantadas em fêmeas ("mães de aluguel"), onde se completa o desenvolvimento embrionário.

Cada uma dessas células dará origem a um indivíduo geneticamente idêntico. Formam-se, então, clones de animais de interesse para o ser humano.

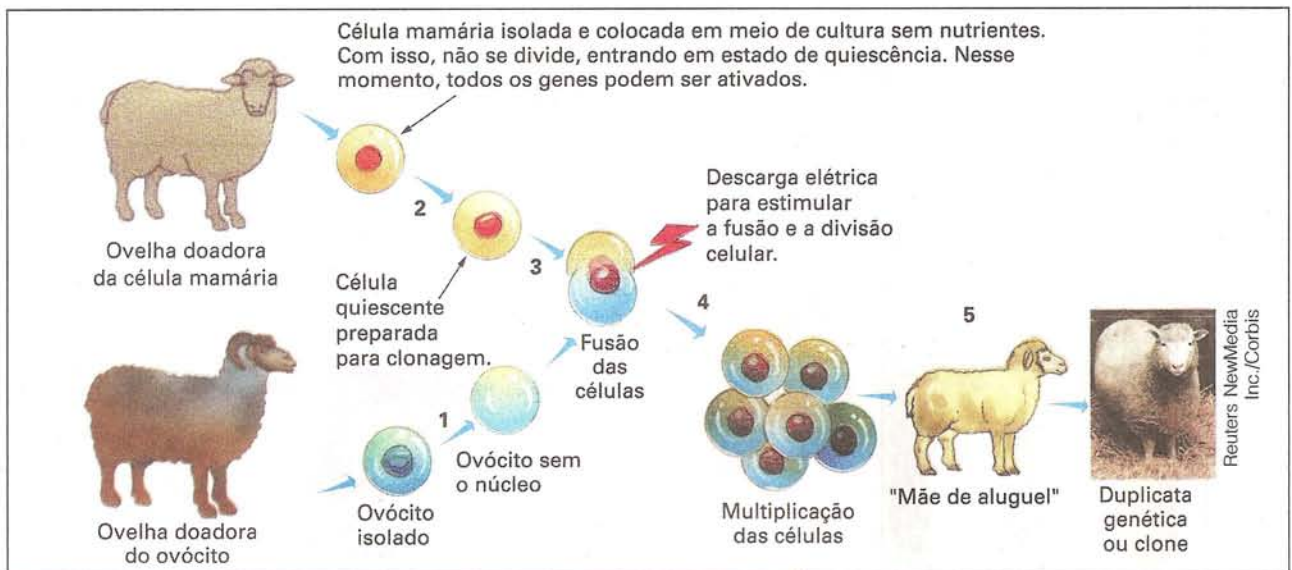
7.2. Clonagem a partir de células somáticas

Um exemplo muito conhecido e divulgado de clonagem a partir de células somáticas é o caso da ovelha Dolly.

Nesse caso, uma **célula receptora**, o ovócito retirado do ovário de uma ovelha da raça *blackface*, teve seu material genético removido com auxílio de uma micropipeta. Uma célula (2n) retirada da glândula mamária de uma ovelha adulta da raça *finn dorset* foi mantida em estado de quiescência, ou seja, em condições que a tornaram pouco ativa. Essa célula foi fundida ao ovócito desprovido de material genético nuclear.

O ovócito, agora com o núcleo 2n recebido da célula somática, foi estimulado a iniciar o desen-

volvimento embrionário. A seguir, o embrião com poucas células foi introduzido no útero de uma “mãe de aluguel”.



Esquema simplificado mostrando como a ovelha Dolly foi clonada. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia em alguns elementos.)

Vale ressaltar que o processo de clonagem não é tão simples quanto parece. No caso descrito, foram produzidos 277 embriões até que um deles, a Dolly, nascesse. Mesmo assim, Dolly apresentou sinais de envelhecimento precoce e artrite, tendo sido sacrificada em 2003 em função de complicações de saúde, aos 7 anos de idade.

A mesma equipe de cientistas que clonou a ovelha Dolly foi responsável por outro feito científico: a produção da ovelha transgênica Polly pelo processo de clonagem.

Por meio dessa clonagem transgênica, isolou-se o DNA da glândula mamária de uma ovelha adulta e o DNA humano a partir de células do sangue. Do DNA humano foi isolado o gene de um dos fatores importantes para que a coagulação do sangue ocorra normalmente e que é ausente nos hemofílicos. Esse gene foi acrescentado ao DNA da ovelha.

Esse DNA modificado foi introduzido em células mamárias da ovelha que foram cultivadas em laboratório. Depois o núcleo dessas células foi removido e introduzido em um ovócito do qual haviam sido retirados os cromossomos. A seguir essa célula assim modificada foi submetida a uma descarga elétrica, o que desencadeou o desenvolvimento embrionário.

O embrião foi introduzido no útero de outra ovelha, onde se desenvolveu, dando origem à Polly, nascida em meados de 1997. Essa ovelha produz o fator de coagulação, que é liberado em seu leite. Assim, pessoas que não produzem esse fator poderiam obtê-lo pela alimentação.

Técnicas como essa podem permitir a formação de órgãos (por exemplo, o coração) genética-

mente alterados em animais. Esses órgãos provenientes de mamíferos transgênicos, como por exemplo porcos, poderiam ser usados até mesmo em transplantes para um ser humano.

A possibilidade da clonagem, inclusive a humana, tem levantado intensas discussões éticas.

É importante frisar que não se clonam indivíduos, mas sim **genomas**, termo que se refere ao conjunto de todo o DNA que determinado organismo tem em suas células.

A clonagem não impede as interações complexas do genótipo com o ambiente na produção do fenótipo. Assim, apesar de genotipicamente idênticos, os clones não terão exatamente os mesmos fenótipos por causa da ação do meio.

Outra questão a ser analisada nessas clonagens é o **DNA mitocondrial**, que pode conter alguns genes responsáveis por doenças, como é o caso da doença humana chamada atrofia óptica de Leber, um tipo de cegueira.

Se a clonagem for feita apenas com a transferência de núcleo $2n$ para o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial será o do ovócito e o clone não será completo por causa do material genético das mitocôndrias.

Quando ocorre fusão entre a célula $2n$ e o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial é em parte do ovócito e em parte da célula somática, e o clone será completo, pois terá mitocôndrias tanto do ovócito quanto da célula que se fundiu a ele.

Testes de maternidade (para constatar quem é a mãe de uma criança) podem ser feitos pela análise do DNA mitocondrial, pois as mitocôndrias dos descendentes são herdadas apenas da mãe.

8. Programas de triagem populacional ou *screening* genético

Os avanços da Engenharia genética nas técnicas de identificação de genes que provocam doenças e das alterações cromossômicas têm permitido que se pense em fazer baterias de testes genéticos como rotina em exames laboratoriais.

Há muitos anos foi criado o programa de triagem populacional para adolescentes judeus ortodoxos *ashkenazim*, originários da Europa central e do Leste europeu. Nesse grupo é alta a incidência da doença de Tay-Sachs, causada por alelo recessivo. Essa doença provoca grave deterioração neurológica, que geralmente causa a morte na infância. Os adolescentes podem ser homozigóticos dominantes ou heterozigóticos. Uma vez detectado o alelo recessivo na pessoa, ela recebe a orientação adequada sobre os riscos de vir a ter um descendente com essa anomalia. Cerca de 50 mil jovens desse grupo de judeus de Israel, dos Estados Unidos, do Canadá e de vários países da Europa já foram testados.

Alguns centros da Inglaterra estão realizando o *screening* para fibrose cística, uma doença autossômica recessiva grave, particularmente comum entre caucasianos.

Um programa considerado um sucesso foi

o de triagem populacional realizado em Chipre, para se identificarem portadores da talassemia, uma forma de anemia causada por alelos sem relação de dominância, em que o indivíduo **TT** não sobrevive, o **Tt** tem talassemia leve e o **tt** é normal.

Entretanto, nem sempre o programa de triagem populacional é bem aceito. Foi o que ocorreu na década de 1970 nos Estados Unidos, quando o governo instituiu para os afro-americanos um programa de *screening* para a doença anemia falciforme. Essa doença, comum em pessoas de ascendência africana, é causada por alelos sem relação de dominância, em que os indivíduos **SS** morrem de anemia, os **Ss** têm anemia leve e os **ss** são normais. Pela falta de informações e de aconselhamento, o programa levou a uma discriminação contra os portadores do gene na comunidade negra, alterando as possibilidades de emprego e seguro-saúde.

Como se pode notar, todas as tentativas de conhecer melhor o genoma humano envolvem problemas éticos que merecem ser debatidos e muito bem esclarecidos.

9. Terapia gênica

A terapia gênica consiste em substituir o alelo que causa doença pelo alelo normal. Os estudos de terapia gênica estão até o momento restritos a células somáticas, mas num futuro próximo pretende-se atuar sobre as células que formam os gametas, de modo que o embrião não apresente mais o alelo para a anomalia.

As principais doenças que têm sido alvo da

terapia gênica são causadas por apenas um gene, como ocorre com fibrose cística, imunodeficiência humana (ADA), talassemia, anemia falciforme, hemofilia A, fenilcetonúria, hipercolesterolemia e distrofia muscular.

Doenças causadas por interação de genes ainda não têm sido cogitadas para tratamento por terapia gênica.

10. Vacinas gênicas

Usando Engenharia genética, os cientistas estão fazendo vacinas gênicas. Genes do agente patológico que codificam proteínas responsáveis por estimular o nosso organismo a produzir anticorpos são isolados e inseridos em bactérias posteriormente clonadas. O produto da atividade desses genes é purificado e vai atuar como uma vacina. Introduzida em nosso organismo, a vacina estimula a produção de anticorpos específicos. Com essa técnica já estão sendo produzidas vacinas contra a hepatite B e a meningite.

11. Recuperação de espécies em extinção

No filme *Jurassic Park*, de Steven Spielberg, é proposta a recuperação de espécies extintas, como é o caso dos dinossauros, através do material genético de fósseis. Tem-se conseguido recuperar apenas parte do material genético de fósseis, mas ainda não o suficiente para gerar um organismo inteiro.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Conceitue Biotecnologia.
2. Explique como é possível clonar um trecho do DNA usando uma bactéria.
3. Cite as principais aplicações da tecnologia do DNA recombinante.
4. Conceitue organismos transgênicos.
5. Explique a clonagem de DNA e a clonagem em animais.
6. Conceitue terapia gênica.
7. Explique o que pretendem os programas de triagem populacional genética e quais são as vantagens e desvantagens desses programas.
8. Monte um esquema simplificado para explicar como se faz um DNA *fingerprint*.
9. Analise os resultados do teste de DNA representado ao lado, feito para solucionar um crime. A sequência de fragmentos de DNA que está no centro foi feita com base em leucócitos presentes em uma mancha de sangue encontrada no local do crime. As demais foram feitas a partir de

leucócitos do sangue de sete suspeitos. Com base na análise do DNA, qual dos sete suspeitos esteve no local do crime?



Fotografia de um teste de DNA *fingerprint* de uma mancha de sangue encontrada na cena de um crime e do sangue de sete suspeitos.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Aconselhamento genético e diagnóstico pré-natal

Os avanços da Engenharia genética nos últimos anos têm permitido maior conhecimento dos cromossomos e de seus genes, e com isso têm possibilitado melhorias no serviço de aconselhamento genético.

O aconselhamento genético é especialmente indicado nos seguintes casos:

- Casais normais que não conseguem ter filhos pelo fato de a mulher não conseguir engravidar ou por não levar uma gestação a termo, passando por abortos sucessivos. Convém esclarecer, no entanto, que é comum ocorrer aborto na primeira gestação (frequência de 30%, que é bastante alta) e que, nesse

caso, não há necessidade de maiores preocupações, pois em geral a segunda gravidez vai a termo. O aconselhamento genético é indicado a partir do terceiro aborto sucessivo.

- Casais normais com casos de doenças genéticas na família da mulher e/ou do homem.
- Casais normais que já tiveram um filho com anomalia genética ou cromossômica.
- Casais consanguíneos, pois têm risco maior de ter filhos com anomalias; esse risco é da ordem de 10% para primos em primeiro grau.
- Casais com mais de 35 anos de idade, sendo mais importante a idade da mulher. Antes dos 35 anos

a chance de se ter um filho com anomalias cromossômicas, como a síndrome de Down, é inferior a três casos em mil. Depois dos 35 anos essa probabilidade aumenta rapidamente: para mulheres com 40 anos a probabilidade é da ordem de um caso em cem, e quando a mãe chega aos 44 anos essa probabilidade vai para 2,4 em cem.

- Casais em que pelo menos um dos cônjuges recebeu radiação ionizante, tomou drogas mutagênicas para tratamento de câncer ou fez uso de drogas que provocam mutações, como ocorre com a droga ilegal LSD.
- Casos médico-legais referentes a testes de paternidade ou troca de crianças.

O diagnóstico pré-natal permite que se saiba com antecedência se a criança que vai nascer é do sexo feminino ou do masculino e se ela pode apresentar alguma das anomalias cromossômicas ou genéticas, detectáveis por meio de várias técnicas laboratoriais.

Apesar de muito valioso, esse diagnóstico, quando aponta anomalias graves no feto, gera problemas éticos muito sérios a respeito de se manter ou interromper a gravidez. Em muitos países, como o Brasil, o aborto só é permitido em casos de estupro e para salvar a vida da mãe, sendo proibido, até o momento, em todos os outros casos, mesmo quando se sabe que o feto possui anomalia grave. A questão do aborto envolve aspectos religiosos, éticos e morais que merecem ampla discussão, especialmente agora que os casais podem saber se o filho que está sendo gerado possui ou não anomalias.

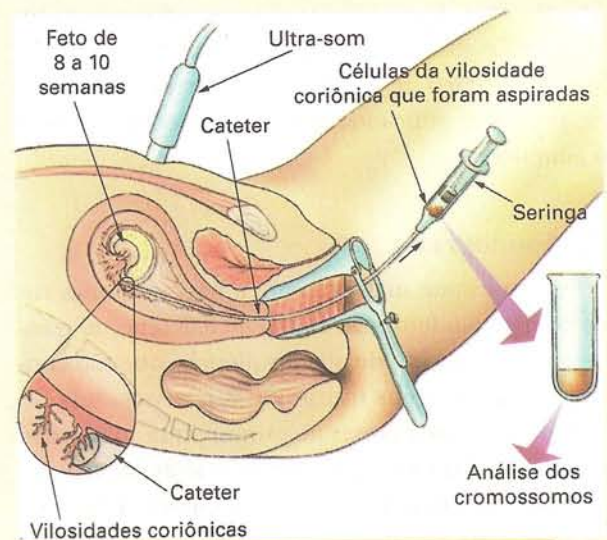
Vejamos, agora, algumas técnicas utilizadas para o diagnóstico pré-natal.

Exame das vilosidades coriônicas

Por esse exame é possível determinar o sexo do feto, anomalias cromossômicas e estudar o DNA a fim de detectar anomalias genéticas. Esse exame só pode ser feito entre a oitava e a décima semana de gravidez e é o que fornece diagnóstico mais precoce. Ele é feito com o auxílio de ultra-sonografia, que orienta o médico na passagem de uma cânula flexível introduzida pela vagina e que passa pelo colo do útero até atingir as vilosidades coriônicas, formadas pelos anexos embrionários do feto e que contribuem para a formação da placenta.

Células das vilosidades coriônicas são aspiradas e mantidas em meios de cultura especiais, onde essas células se dividem. Interrompe-se a mitose dessas células em divisão, e as que estão em metáfase têm seus cromossomos analisados. Esse exame só deve ser feito nos casos indicados por aconselhamento

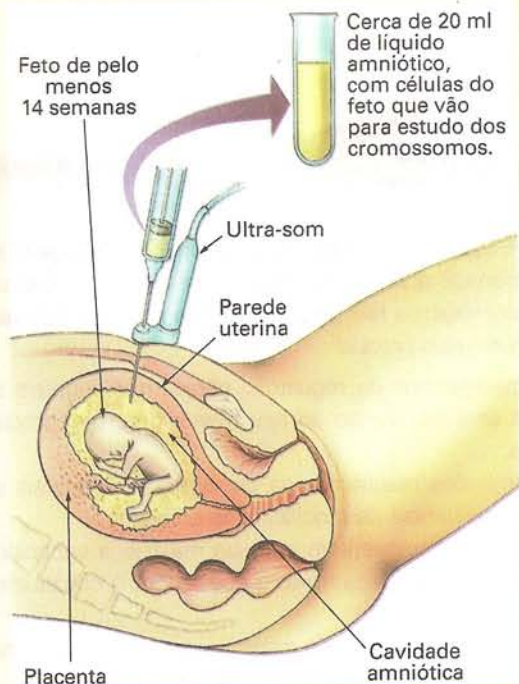
genético, pois há risco de aborto em decorrência do próprio exame.



Esquema do procedimento médico de coleta de amostra das vilosidades coriônicas (cores-fantasia).

Amniocentese

Por meio desse exame, obtêm-se as mesmas informações que no exame das vilosidades coriônicas, mas só pode ser feito a partir da 14ª semana de gestação. A amniocentese consiste na coleta do líquido amniótico, por meio de uma seringa introduzida na barriga da mãe. Essa coleta também deve ser acompanhada por ultra-sonografia.



Esquema do procedimento médico da coleta de amostra do líquido amniótico (cores-fantasia).

No líquido amniótico estão presentes células originadas da pele e dos sistemas urinário e respiratório do feto. Essas células são mantidas em culturas, e então seus cromossomos são analisados. Também existe risco de aborto em decorrência do exame, por isso é indicado somente por aconselhamento genético.

Ultra-sonografia

É o exame mais comum, e não apresenta riscos nem para o feto nem para a mãe. É feito utilizando-se ondas sonoras de alta frequência, que são convertidas em imagens transmitidas por uma tela de computador. Esse exame não proporciona análise dos cromossomos do feto, pois não se coletam células do embrião. No entanto, permite diagnosticar anomalias do sistema nervoso central, como espinha bífida, anencefalia (ausência de encéfalo) e hidrocefalia (encéfalo alterado pela presença de líquido), anomalias renais, anomalias no trato digestório, anomalias cardíacas, defeitos nos ossos. Em alguns casos é

possível definir o sexo do embrião por meio da genitália externa.



Steve Prezant/Corbis

Fotografia de uma mulher grávida fazendo uma ultra-sonografia.

Fetoscopia

Feito em situações muito especiais, nesse exame o feto é visualizado por meio de uma cânula com fibra óptica introduzida na barriga da mãe. Dessa forma, podem-se observar anomalias morfológicas, como fendas faciais e defeitos nos membros. Por meio dessa técnica também é possível introduzir uma agulha e obter amostra do sangue e da pele do embrião para diagnosticar doenças.

- Discuta, levando em conta seus valores morais, éticos e religiosos, os seguintes temas:
 - aborto terapêutico;
 - aconselhamento genético;
 - programas de triagem populacional;
 - clonagem de seres humanos.



TESTES

1. (UFES) Os conhecimentos envolvendo a "clonagem" têm proporcionado à humanidade grandes avanços e sua utilização em vegetais tem sido mais fácil e menos controversa que em animais porque:

- a) os mecanismos de regulação gênica nos vegetais são mais simples, devido ao seu menor grau de complexidade.
- b) os embriões resultantes da clonagem em vegetais são mais resistentes às modificações ambientais.
- c) os vegetais apresentam, em sua maioria, a capacidade de propagação vegetativa, o que facilita a continuidade do processo.
- d) a regulação hormonal da reprodução nos vegetais é mais facilmente controlada pelos cientistas.
- e) os vegetais produzem maior número de embriões por indivíduo, o que diminui a perda, em caso de rejeição.

2. (UFF-RJ) Ao se injetar o núcleo de uma célula diferenciada de uma rã em um ovo de outra rã, não-fertilizado e cujo núcleo tenha sido removido, ocorrerá:

- a) a morte da célula-ovo, uma vez que o núcleo injetado proveniente da célula diferenciada contém DNA cuja composição de bases nitrogenadas é diferente da célula-ovo.
- b) a morte da célula-ovo, uma vez que o núcleo injetado não contém determinados genes, removidos durante a diferenciação.
- c) a formação de um clone de células não diferenciadas, uma vez que o núcleo injetado não possui alguns genes, removidos durante a diferenciação.
- d) a formação de um girino normal a partir do ovo, uma vez que o núcleo injetado contém toda a informação (DNA) necessária à formação do girino.
- e) a expulsão do núcleo injetado por meio de exocitose realizada pela célula-ovo.

3. (Vunesp-SP) O primeiro transplante de genes bem-sucedido foi realizado em 1981, por J. W. Gurdon e F. H. Ruddle, para obtenção de camundongos transgênicos, injetando genes da hemoglobina de coelho em zigotos de camundongos, resultando camundongos com hemoglobina de coelho em suas hemácias. A partir destas informações, pode-se deduzir que:

- o DNA injetado foi incorporado apenas às hemácias dos camundongos, mas não foi incorporado aos seus genomas.
- o DNA injetado nos camundongos poderia passar aos seus descendentes somente se fosse incorporado às células somáticas das fêmeas dos camundongos.
- os camundongos receptores dos genes do coelho tiveram suas hemácias modificadas, mas não poderiam transmitir essa característica aos seus descendentes.
- os camundongos transgênicos, ao se reproduzirem, transmitiram os genes do coelho aos seus descendentes.
- o RNAm foi incorporado ao zigoto dos embriões em formação.

4. (UGF-RJ)

Nova técnica facilita a clonagem de mamíferos

"Uma nova abordagem promete tornar a clonagem economicamente viável. Graças a ela foi possível clonar quatro bezerros, agora com 7 e 9 meses de idade, a partir de células tiradas da pele da orelha de um touro japonês premiado. Especialistas acreditam que o método funcionaria bem, incluindo seres humanos, dando aos cientistas um alto grau de controle da manipulação genética."

(O Globo, 06/01/2000)

A clonagem é um processo através do qual são produzidas cópias idênticas de células ou de genes. As técnicas de clonagem artificial são muito recentes, porém a natureza produz clones desde o início da Terra.

Como exemplo de clonagem natural, temos:

- tecnologia transgênica.
- surgimento da ovelha Dolly.
- nascimento de gêmeos univitelinos.
- células cartilaginosas de seres unicelulares.
- aparecimento do DNA recombinante.

5. (UFRS) Escolha a alternativa que apresenta um exemplo de transgenia.

- Incorporação e expressão de gene humano que codifica insulina por bactérias.
- Desenvolvimento de um organismo completo a partir de uma célula somática.
- Organismo que apresenta tanto estruturas reprodutoras masculinas quanto femininas.
- Gene que sofreu mutações, originando múltiplos alelos para um mesmo *locus*.
- Organismo mais vigoroso, com muitos genes em heterozigose, resultante do cruzamento de duas variedades puras distintas.

Leia o texto a seguir para responder aos testes 6 e 7.
A seqüência abaixo indica de maneira simplificada

os passos seguidos por um grupo de cientistas para a clonagem de uma vaca:

- Retirou-se um óvulo da vaca **Z**. O núcleo foi desprezado, obtendo-se um óvulo anucleado.
- Retirou-se uma célula da glândula mamária da vaca **W**. O núcleo foi isolado e conservado, desprezando-se o resto da célula.
- O núcleo da célula da glândula mamária foi introduzido no óvulo anucleado. A célula reconstituída foi estimulada para entrar em divisão.
- Após algumas divisões, o embrião foi implantado no útero de uma terceira vaca **Y**, "mãe de aluguel". O embrião se desenvolveu e deu origem ao clone.

6. (ENEM) Considerando-se que os animais **Z**, **W** e **Y** não têm parentesco, pode-se afirmar que o animal resultante da clonagem tem as características genéticas da vaca:

- Z**, apenas.
- W**, apenas.
- Y**, apenas.
- Z** e da **W**, apenas.
- Z**, **W** e **Y**.

7. (ENEM) Se a vaca **Y**, utilizada como "mãe de aluguel", for a mãe biológica da vaca **W**, a porcentagem de genes da "mãe de aluguel" presente no clone será:

- 0%.
- 25%.
- 50%.
- 75%.
- 100%.

8. (FMU-FIAM-FAAM-SP) O Projeto Genoma Humano (PGH) tem direcionado bilhões de dólares e os esforços de milhares de pesquisadores, em todo o mundo, no sentido de mapear a seqüência das bases nitrogenadas do DNA que compõe os 23 pares de cromossomos humanos. Tais esforços partem do pressuposto de que o mapeamento do DNA humano atingirá os objetivos abaixo, exceto:

- possibilitar a intervenção no genoma humano.
- antecipar a ocorrência de doenças genéticas.
- facilitar a futura clonagem de seres humanos.
- corrigir mutações por meio da engenharia genética.
- identificar genes de interesse em genética humana.

9. (PUC-RJ) Dentre as opções abaixo, qual apresenta a afirmativa correta com relação aos elementos transgênicos?

- Eles mudam suas características fenotípicas ao longo do seu ciclo de vida.
- Eles possuem parte da informação genética de outro ser vivo.
- Eles contêm muitos conservantes que impedem sua rápida deterioração.
- Eles passam parte do seu genoma para o indivíduo que o ingere.
- Eles possuem menos calorias que os naturais.

10. (Unifor-CE) Ultimamente a clonagem humana tem sido amplamente discutida na mídia. Entretanto, a clonagem de outros organismos ocorre naturalmente sem estardalhaço. Considere os seguintes tipos de reprodução:

- divisão binária;
- brotamento;
- transformação;
- transdução;
- conjugação.

Podem ser considerados clonagem SOMENTE:

- 3 e 4.
- 3 e 5.
- 2.
- 4.
- 1 e 2.

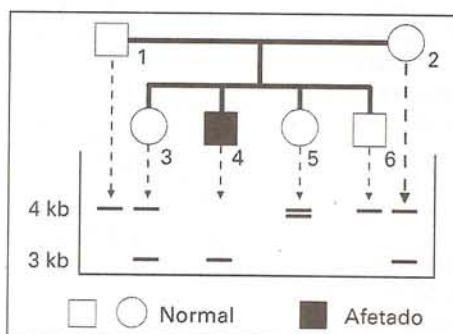


QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unicamp-SP) Pesquisadores anunciaram o nascimento da ovelha Dolly, considerada o primeiro clone de mamífero gerado artificialmente. Um dos objetivos dessa pesquisa é a melhoria da pecuária, através da formação de rebanhos homogêneos. Clones, no entanto, ocorrem naturalmente no cotidiano, lembra o geneticista Ademar Freire Maia em um artigo do *Boletim Germinis* do Conselho Federal de Biologia, de maio/junho de 1997.

- Qual seria a desvantagem biológica de um rebanho de clones?
- Dê um exemplo de clone que ocorre naturalmente. Justifique.

2. (UFMG) Observe a figura:



O heredograma contido nessa figura é parte de um levantamento familiar sobre a ocorrência de hemofilia A, grave anomalia genética recessiva e ligada ao cromossomo X. Os indivíduos afetados por essa doença apresentam deficiência na produção do fator VIII responsável pela coagulação do sangue.

Atualmente, podem-se determinar os indivíduos portadores dessa anomalia através da obtenção de dados como os contidos no diagrama, acoplado ao heredograma da figura.

Nesse diagrama estão representados fragmentos de parte do gene responsável pela produção do fator VIII. Esses fragmentos são obtidos através do corte do DNA extraído de cada indivíduo, utilizando-se enzimas específicas. Os fragmentos obtidos são de dois tipos: um com 4 quilobases (4 kb) e outro com 3 quilobases (3 kb), sendo 1 kb = 1 000 pares de bases do DNA. Esses dois tipos de fragmentos podem ser detectados pelo seu tamanho relativo e estão representados por linhas no diagrama.

Após a análise da figura e das informações contidas no texto, faça o que se pede:

- Utilizando-se apenas das informações do heredograma, cite o(s) possível(eis) genótipo(s) dos indivíduos 2, 3 e 5.
- Correlacionando-se os dados do heredograma com aqueles obtidos da análise do DNA, determine os genótipos dos indivíduos 2, 3 e 5.
- Supondo-se que os casamentos se façam com homens normais, indique a probabilidade de nascimento de criança hemofílica dos indivíduos 3 e 5.
- Cite uma importante vantagem da nova técnica de análise do DNA, quando comparada com a simples análise de um heredograma.

UNIDADE 6

Keystock



Evolução

Evolução — teorias e evidências

1. O pensamento evolutivo

Até meados do século XIX defendia-se que as espécies eram imutáveis, princípio chamado **fixismo**. Somente a partir do início do século XX a evolução passou a ser mais aceita, e é hoje considerada o eixo central da Biologia.

O fixismo começou a ser contestado primeiramente por **Jean-Baptiste Lamarck** (1744-1829), e depois por **Charles Darwin** (1809-1882) e **Alfred Russel Wallace** (1823-1913).

Vamos de início comentar algumas das evidências que foram importantes no desenvolvimento das idéias sobre evolução e outras que têm sido usadas mais recentemente para entender esse processo.

2. Evidências evolutivas

2.1. Homologia

A teoria evolutiva apresenta argumentos fortemente corroborados pelo estudo comparativo dos organismos, sejam eles fósseis ou atuais.

No estudo comparado dos seres vivos deparamo-nos com estruturas semelhantes em diferentes espécies. Essas semelhanças podem ser por **analogia** ou por **homologia**.

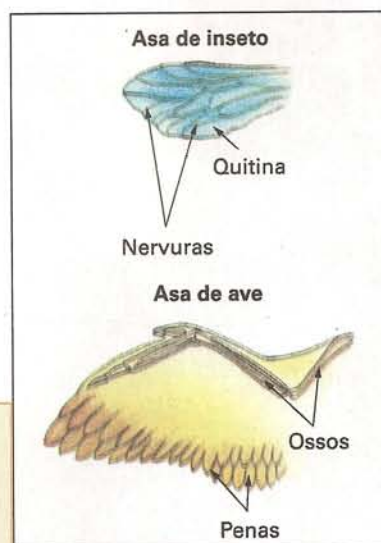
Estruturas análogas são as que se assemelham simplesmente por exercerem a mesma função, mas não derivam de modificações de estruturas semelhantes já existentes em um ancestral comum exclusivo. São estruturas semelhantes quanto à função, mas que não têm a mesma origem embriológica. Esse tipo de semelhança não é usado nos estudos que visam estabelecer relações de parentesco evolutivo.

São análogas, por exemplo, as asas das aves e as dos insetos: ambas desempenham a mesma função, que é o vôo, mas não são derivadas das mesmas estruturas presentes em um ancestral comum exclusivo entre aves e insetos.

As estruturas análogas são fruto do que se chama **evolução convergente** (ou **convergência evolutiva**). Nesse processo, em função da adaptação a uma condição ecológica semelhante, determinadas estruturas evoluem independentemente

em dois ou mais grupos de seres vivos que não possuem um ancestral comum exclusivo.

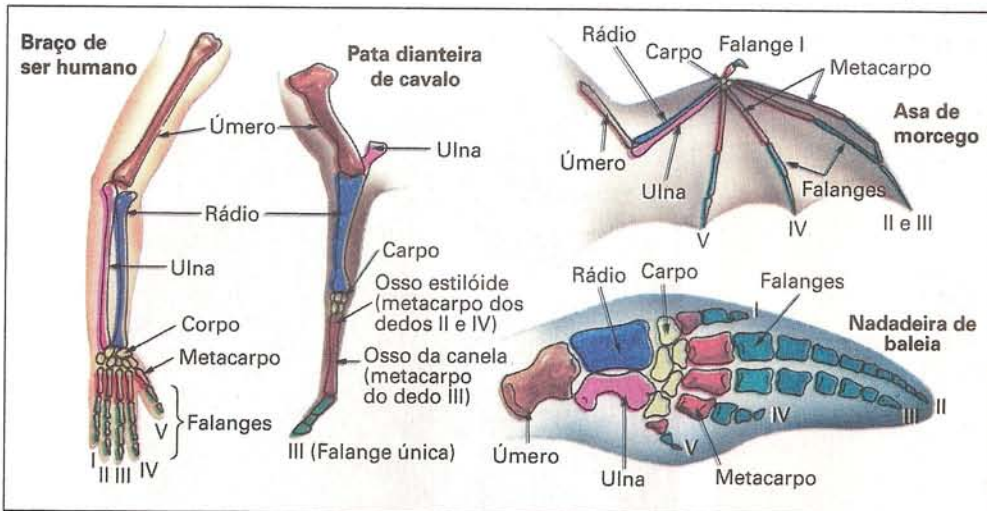
Esquemas de estruturas análogas. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)



Estruturas homólogas são aquelas que derivam de estruturas já existentes em um mesmo ancestral comum exclusivo, podendo ou não estar modificadas para exercer uma mesma função.

São exemplos de estruturas homólogas entre si: os ossos dos braços dos seres humanos, dos membros anteriores dos cavalos, das asas dos morcegos e das nadadeiras das baleias. Essas estruturas são homólogas porque derivam do membro anterior pre-

sente no grupo ancestral que deu origem aos mamíferos. Nesse caso, elas não desempenham a mesma função, falando-se em **divergência evolutiva**.



Esquema de homologia entre os ossos dos membros anteriores dos mamíferos. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

Existem, no entanto, estruturas homólogas que também estão adaptadas a uma mesma função. É o caso das nadadeiras anteriores das baleias e dos golfinhos, ambos mamíferos com os membros anteriores modificados para a vida em ambiente aquático.

Nos estudos de relações de parentesco evolutivo devem ser considerados apenas caracteres homólogos. Esses caracteres podem corresponder a duas condições: à condição **primitiva**, que ocorre no grupo ancestral, ou à **derivada**, que equivale a uma modificação da forma primitiva e ocorre em um ou mais grupos de organismos derivados desse ancestral.

As condições derivadas são as usadas na definição das relações evolutivas entre os grupos de seres vivos, como comentamos no capítulo 12.

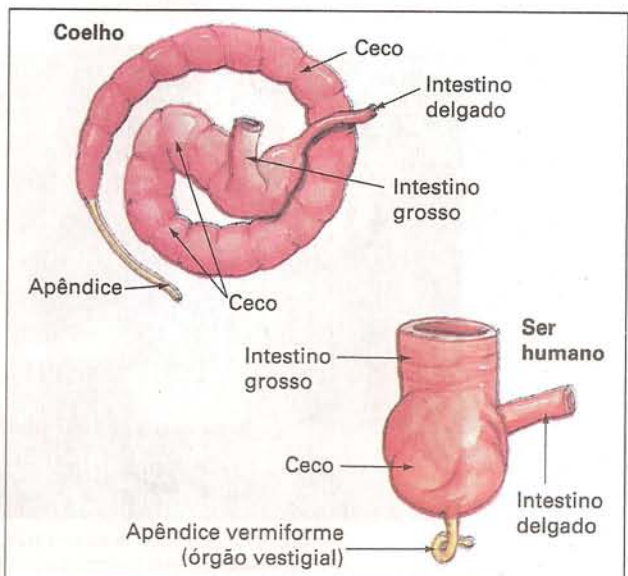
2.2. Órgãos vestigiais

Órgãos vestigiais são aqueles que em alguns organismos são de tamanho reduzido e geralmente não têm função, mas que em outros organismos são maiores e exercem função definida. A importância evolutiva desses órgãos vestigiais é a indicação de parentesco evolutivo.

Um exemplo bem conhecido de órgão vestigial no ser humano é o **apêndice vermiforme** (ou **apêndice cecal**), uma estrutura pequena que parte do ceco, porção inicial do intestino grosso.

Nos mamíferos roedores, o ceco é uma estrutura bem desenvolvida, onde o alimento parcialmente digerido é armazenado e a celulose, abundante nos vegetais ingeridos, é degradada pela ação de bactérias especializadas. Em alguns desses animais, como o coelho, o ceco apresenta uma extremidade final mais estreita denominada apêndice, que corresponde

ao apêndice vermiforme (apêndice cecal) humano.



Esquema de segmentos do intestino de coelho e de ser humano. (Estruturas representadas na mesma proporção; cores-fantasia.)

2.3. Estudo dos fósseis

É considerado fóssil qualquer indício da presença de organismos que viveram em tempos remotos da Terra.

As partes duras do corpo dos organismos são as mais freqüentemente conservadas nos processos de fossilização, mas existem casos em que a parte mole do corpo também é preservada. Dentre esses casos, podem-se citar os fósseis congelados, como o mamute encontrado na Sibéria do Norte, e os fósseis de insetos encontrados em âmbar.

No caso dos insetos, aqueles que eram recobertos pela resina pegajosa eliminada pelos pinhei-

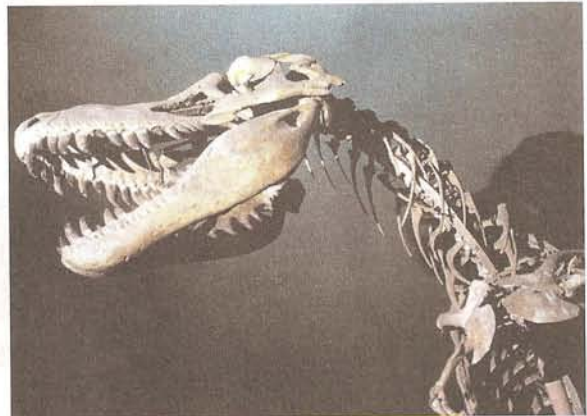
ros morriam. A resina endurecia, transformando-se em âmbar, e o inseto ali contido era preservado com detalhes de sua estrutura.

Também são consideradas fósseis impressões deixadas por organismos que viveram em eras passadas, como pegadas de animais extintos, e impressões de folhas, de penas de aves extintas e da superfície da pele de dinossauros.

Stock Photos



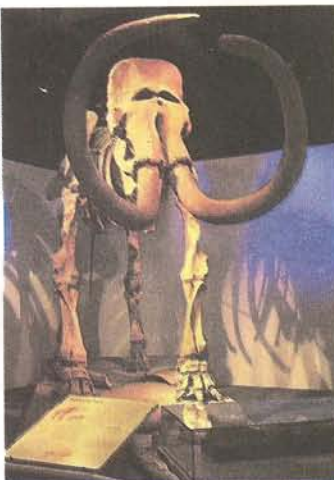
Fotografia de mosquito fóssil embebido em âmbar, preservado quase perfeito por milhões de anos. Mede cerca de 5 mm de comprimento.



Fotografia de esqueleto de um dinossauro.

G. Hutton/Stock Photos

Richard Cummins/Corbis



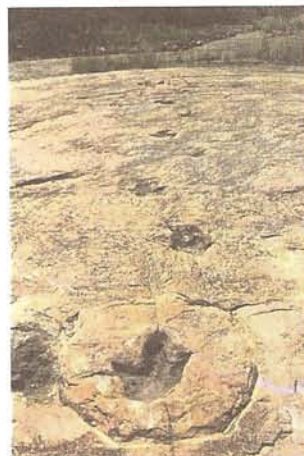
Jonathan Blair/Corbis

Fotografia de esqueleto e reconstituição de um mamute (aproximadamente 3 m de altura), animal extinto que viveu na América do Norte e na Eurásia.



G. Ranalli/ Stock Photos

Fotografia de tronco de árvore petrificado. Podem ser encontrados em Teresina (PI) e em Santa Maria, Mata e São Pedro do Sul (RS). Em Mata, há troncos enormes de árvores petrificados da era Mesozóica. A sílica, vulgarmente conhecida por areia, penetrou no corpo da árvore, petrificando-a.



D. Olivier/Jacana/Stock Photos

Fotografia de pegadas de dinossauros.



T. Cutler/Stock Photos

Fotografia de planta fóssil: impressão deixada sobre rocha sedimentar.

A importância do estudo dos fósseis para a evolução está na possibilidade de conhecermos organismos que viveram em épocas remotas da Terra e muitas vezes sob condições ambientais distintas das encontradas atualmente, o que pode nos fornecer indícios de seu parentesco com as espécies atuais.

2.4. Evidências moleculares

Sabemos que todos os organismos com estrutura celular possuem como material genético o DNA e que os genes são trechos dessas moléculas de DNA transcritos em moléculas de RNA que podem ser traduzidos em proteínas. Portanto, o DNA, o RNA e as proteínas são moléculas presentes em

todos os seres vivos desde que eles surgiram na Terra.

Modificações nessas moléculas foram fundamentais no processo da evolução e permitiram a grande diversificação dos seres vivos. Assim, comparando as seqüências de bases nitrogenadas do DNA ou do RNA, ou comparando as proteínas de diferentes espécies de seres vivos, podemos estabelecer o grau de proximidade entre essas espécies. Isso significa que podemos estabelecer o grau de parentesco evolutivo entre elas.

Quanto maior for a semelhança nas seqüências das bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos, ou quanto maior a semelhança entre as proteínas dessas espécies, maior será a proximidade evolutiva entre elas.

3. As idéias de Lamarck

Lamarck, naturalista francês, foi o primeiro a propor uma teoria sistemática da evolução. Sua teoria foi publicada em 1809, no livro *Filosofia zoológica*.



Bettmann/Corbis

Jean-Baptiste Lamarck.

Ele dizia que formas de vida mais simples surgem a partir da matéria inanimada por geração espontânea e progridem a um estágio de maior complexidade e perfeição.

Em sua teoria, Lamarck sustentou que a progressão dos organismos era guiada pelo meio ambiente: se o ambiente sofre modificações, os organismos procuram adaptar-se a ele.

Nesse processo de adaptação, um ou mais órgãos são mais usados do que outros. O uso e o desuso dos diferentes órgãos alterariam características do corpo, e essas características seriam transmitidas para as próximas gerações. Assim, ao longo do tempo os organismos se modificariam, podendo dar origem a novas espécies.

Segundo Lamarck, portanto, o princípio evolutivo estaria baseado em duas leis fundamentais:

- **lei do uso ou desuso:** no processo de adaptação ao meio, o uso de determinadas partes do corpo do organismo faz com que elas se desenvolvam, e o desuso faz com que se atrofiem;
- **lei da transmissão dos caracteres adquiridos:** alterações no corpo do organismo provocadas pelo uso ou desuso são transmitidas aos descendentes.

Vários são os exemplos de abordagem lamarquista para a evolução. Um deles se refere às aves aquáticas, que se teriam tornado pernaltas devido ao esforço que faziam para esticar as pernas e assim evitar molhar as penas durante a locomoção na água. A cada geração esse esforço produziria aves com pernas mais altas, que transmitiam essa característica à geração seguinte. Após várias gerações, teriam sido originadas as atuais aves pernaltas.

Na época, as idéias de Lamarck foram rejeitadas, não porque falavam na herança das características adquiridas, mas por falarem em evolução. Não se sabia nada sobre herança genética e acreditava-se que as espécies eram imutáveis. Somente muito mais tarde os cientistas puderam contestar a herança dos caracteres adquiridos. Uma pessoa que pratica atividade física terá musculatura mais desenvolvida, mas essa condição não é transmitida aos seus descendentes.

Mesmo estando enganado quanto às suas interpretações, Lamarck merece ser respeitado, pois foi o primeiro cientista a questionar o fixismo e defender idéias sobre evolução. Ele introduziu também o conceito de **adaptação** dos organismos ao meio, muito importante para o entendimento da evolução.

Em 1838, Darwin leu o ensaio de Thomas Malthus (1766-1834) sobre os princípios que regem as populações humanas, escrito em 1798. Malthus argumentava que o crescimento sem controle da população humana levaria à fome, pois, enquanto a população cresce em escala geométrica, a produção de alimentos cresce em escala aritmética.

Darwin imaginou que esses argumentos poderiam ser aplicados para as populações dos demais seres vivos, em que o crescimento populacional seria controlado por limites impostos pelo meio. A falta de recursos disponíveis para todos levaria a disputas entre os organismos, e apenas aqueles com características mais vantajosas teriam condições de sobreviver e deixar descendentes. Assim, o meio atuaria selecionando naturalmente os organismos mais adaptados a ele.

Nos 20 anos que se seguiram após seu retorno, Darwin trabalhou em muitos outros projetos e amadureceu suas idéias sobre evolução. Somente em 1856 começou a escrever o livro que seria o mais importante de sua vida e um dos mais importantes da história da Biologia: *A origem das espécies por meio da seleção natural, ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*. Esse livro só foi publicado em 1859.

Em junho de 1858, o naturalista inglês Alfred Wallace, com base nos estudos que realizou na América do Sul e no arquipélago Malaio, chegou de forma independente às mesmas conclusões de Darwin sobre evolução por seleção natural.



Alfred Russel Wallace.

Hulton-Deutsch Collection/Corbis

Wallace enviou a Darwin uma carta falando sobre suas idéias a respeito da seleção natural, e os dois redigiram um documento que foi lido numa memorável reunião científica em Londres, em julho de 1858.

As idéias de Wallace foram tão bem elaboradas quanto as de Darwin, mas em função principalmente da publicação do livro *A origem das espécies*, que contém grande quantidade de informações sobre o assunto, a Teoria da evolução por seleção na-

tural ficou conhecida como sendo apenas de Darwin. Apesar de Wallace não ter apresentado um trabalho de tão amplo alcance como fez Darwin, ele merece os créditos da elaboração da Teoria da evolução por seleção natural.

O livro *A origem das espécies* apresenta duas idéias centrais:

- todos os organismos descendem, com modificações, de ancestrais comuns;
- o principal agente de modificações é a ação da seleção natural sobre as variações individuais.

Na primeira idéia Darwin contestava a imutabilidade das espécies, reunindo argumentos com base em estudos de fósseis, da distribuição geográfica das espécies, da anatomia e da embriologia comparadas e da modificação dos organismos domesticados. Neste último caso ele se referia à seleção artificial realizada pelo ser humano, dando origem, por exemplo, às diferentes raças de cães e gatos.

Para a segunda idéia Darwin argumentava que os organismos mais bem adaptados ao meio têm maiores chances de sobrevivência, deixando um número maior de descendentes. Esses organismos são, portanto, naturalmente selecionados pelo ambiente. O contrário ocorre com os organismos menos adaptados ao meio.

Darwin admitia que os organismos de uma população não são idênticos entre si, apresentando variações em todos os caracteres. Essas variações é que tornam os indivíduos mais adaptados ou menos adaptados ao meio em que vivem.

Na natureza, os recursos são limitados e por isso são disputados pelos organismos, vencendo os que possuem o conjunto de características mais vantajosas para as condições daquele meio. Esse fato é que mantém o número de indivíduos de uma população mais ou menos constante. Os organismos com características vantajosas têm, portanto, mais chances de sobreviver e se reproduzir, passando essas características aos descendentes. Com o tempo essa população vai se modificando, ou seja, vai evoluindo por seleção natural.

Do mesmo modo que Lamarck e Wallace, Darwin também não conseguiu explicar satisfatoriamente a origem da variabilidade nas populações, nem como as características são transmitidas ao longo das gerações.

Com o reconhecimento dos trabalhos de Mendel, em 1900, começaram a surgir explicações sobre os mecanismos de herança. A Genética ganhou, então, grande impulso, e com ela desenvolveram-se os estudos que buscam explicar os mecanismos da evolução das espécies.

Seleção sexual

Outro importante trabalho de Darwin, *A origem do homem e a seleção relacionada ao sexo*, publicado em 1871, aborda uma variedade da seleção natural: a seleção sexual. Enquanto a seleção natural leva a uma adaptação do organismo ao meio em que vive, aumentando sua chance de sobrevivência, a seleção sexual relaciona-se com a adaptação do organismo às suas necessidades de obter um parceiro, garantindo sua reprodução.

Em muitas espécies de vertebrados, por exemplo, são as fêmeas que selecionam os machos, e o papel do macho é ser o mais atraente possível. Em aves, geralmente os machos apresentam plumagem mais colorida e vistosa do que as fêmeas e se exibem para elas em elaborado ritual.

Fotografia de pavão e pavo, em que se observa o dimorfismo sexual: o macho apresenta plumagem exuberante, que exhibe para a fêmea no processo de corte.



Carl & Ann Purcell/Corbis

Entre os mamíferos pode ocorrer luta entre os machos na disputa pela fêmea. Além disso, em muitos casos as fêmeas ainda decidem se ficam ou não com o vencedor da batalha. Ocorre, assim, uma seleção sexual em que os machos que apresentam características mais vantajosas para a reprodução são positivamente selecionados e, com isso, passam essas características aos descendentes.

Fotografia de leões-marinhos machos lutando pela conquista de território e de fêmeas para o acasalamento.



Tom Brakel/Corbis

5. A Teoria sintética da evolução

De 1900 até cerca de 1920, os adeptos da genética mendeliana acreditavam que apenas as mutações eram responsáveis pela evolução e que a seleção natural não tinha importância nesse processo.

Depois disso vários cientistas começaram a conciliar as idéias sobre seleção natural com os fatos da Genética, o que culminou com a formulação da **Teoria sintética da evolução** ou **Teoria neodarwinista** ou, simplesmente, **Neodarwinismo**.

Conforme Darwin já havia proposto, essa teoria considera a população como a unidade evolutiva.

Uma população pode ser definida como um agrupamento de indivíduos da mesma espécie que ocorrem em uma mesma área geográfica, em um mesmo intervalo de tempo.

Cada população apresenta determinado conjunto gênico, que pode ser alterado de acordo com

fatores evolutivos. O conjunto gênico de uma população é o conjunto de todos os genes presentes nessa população. Assim, quanto maior for o conjunto gênico da população, maior será a variabilidade genética.

Os principais fatores evolutivos que atuam sobre o conjunto gênico da população podem ser reunidos em duas categorias:

- fatores que tendem a aumentar a variabilidade genética da população — **mutação** e **permutação**;
- fatores que atuam sobre a variabilidade genética já estabelecida — **migração**, **deriva genética** e **seleção natural**.

Sabe-se que uma população está evoluindo quando se verificam alterações na frequência de seus genes.

Atualmente considera-se a evolução como o conceito central e unificador da Biologia, e uma frase marcante que enfatiza essa idéia foi escrita pelo cientista Dobzhansky: “Nada se faz em Biologia a não ser à luz da evolução”.

Embora a Teoria sintética da evolução seja a mais unificadora da Biologia atual, ainda existem correntes que se opõem a ela. Uma delas é a corrente criacionista e fixista, que se baseia em crenças religiosas e não será discutida neste livro.

5.1. Mutação

As mutações podem ser cromossômicas ou gênicas. As mutações cromossômicas já foram mencionadas e podem ser alterações no número ou na forma dos cromossomos. As mutações gênicas originam-se de alterações na sequência de bases nitrogenadas de determinado gene durante a duplicação da molécula de DNA. Essa alteração pode ocorrer por **perda**, **adição** ou **substituição de nucleotídeos**, o que pode originar um gene capaz de codificar uma proteína diferente da que deveria ter sido codificada. Neste capítulo nos detemos nas mutações gênicas.

As mutações gênicas são consideradas as fontes primárias da variabilidade, pois aumentam o número de alelos disponíveis em um locus, incrementando o conjunto gênico da população. Embora ocorram espontaneamente, podem ser provocadas por agentes mutagênicos, como radiações e certas substâncias químicas (a droga ilegal LSD, por exemplo).

As mutações não ocorrem para adaptar o indivíduo ao ambiente. Elas ocorrem ao acaso e, por seleção natural, são mantidas quando adaptativas (seleção positiva) ou eliminadas em caso contrário (seleção negativa). Podem ocorrer em células somáticas ou em células germinativas; neste último caso as mutações são de fundamental importância para a evolução, pois são transmitidas aos descendentes.

5.2. Permutação

Em decorrência de permutações, processo que ocorre na meiose, no qual há trocas de partes entre cromossomos homólogos, estabelecem-se novas combinações entre os genes, aumentando, assim, a variedade de tipos de gametas que podem ser produzidos. Essa maior variedade de gametas traz como consequência o provável aumento da variedade genotípica nos indivíduos das gerações seguintes, o que representa um fator evolutivo importante.

5.3. Migração

A migração corresponde à entrada ou à saída de indivíduos em uma população. A entrada denomina-se **imigração** e a saída, **emigração**.

Pelos processos migratórios é possível que genes novos sejam introduzidos em uma população. Assim, se indivíduos emigrarem de uma população para outra da mesma espécie, poderão introduzir genes que não ocorriam na população para a qual imigraram, contribuindo para o aumento da variabilidade genotípica dessa população.

Por meio das migrações é estabelecido um **fluxo gênico**, que tende a diminuir as diferenças genéticas entre as populações da mesma espécie.

5.4. Seleção natural

A ação da seleção natural consiste em selecionar indivíduos mais adaptados a determinada condição ecológica, eliminando aqueles desvantajosos para essa mesma condição.

A expressão **mais adaptado** refere-se à maior probabilidade de determinado indivíduo sobreviver e deixar descendentes em determinado ambiente.

A seleção natural atua permanentemente sobre todas as populações. Mesmo em ambientes estáveis e constantes, a seleção natural, que age de modo estabilizador, está presente, eliminando os fenótipos desviantes.

Entretanto, o ambiente não representa um sistema constante e estável, quer ao longo do tempo quer ao longo do espaço, o que determina interações diferentes entre os organismos e o meio.

Essa heterogeneidade propicia diferentes pressões seletivas sobre o conjunto gênico da população, evitando a eliminação de determinados alelos que, em um ambiente constante e estável, não seriam mantidos. Dessa forma, a variabilidade genética sofre menor redução.

É o que acontece com a manutenção na população humana de certos alelos que normalmente seriam eliminados por serem pouco adaptativos. Um exemplo é o alelo que causa uma doença chamada **anemia falciforme** ou **siclemia**.

Essa doença é causada por um alelo que condiciona a formação de moléculas anormais de hemoglobina com pouca capacidade de transporte de oxigênio. Devido a isso, as hemácias que as contêm adquirem o formato de foice quando a concen-

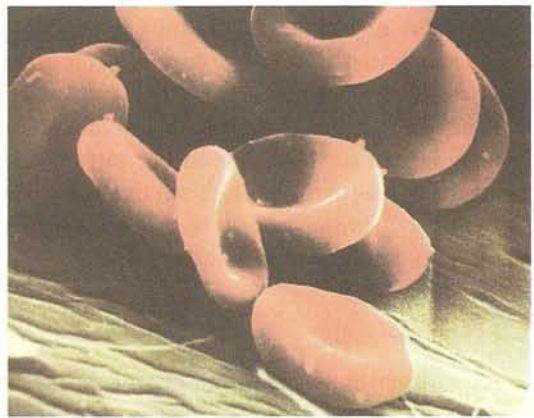
tração de oxigênio diminui. Por essa razão são chamadas hemácias **falciformes**.

Walter Reinhardt/Phototake



Micrografia eletrônica de varredura de hemácias falciformes coloridas artificialmente.

Dennis Kunkel/Phototake



Micrografia eletrônica de varredura de hemácias normais coloridas artificialmente.

Os heterozigóticos apresentam tanto hemácias e hemoglobinas normais como hemácias falciformes. Apesar de ligeiramente anêmicos, sobrevivem, embora com menor viabilidade em relação aos homozigóticos normais.

Em condições ambientais normais, o alelo para anemia falciforme sofre forte efeito seletivo negativo, ocorrendo com baixa frequência nas populações. Observou-se, no entanto, alta frequência desse alelo em extensas regiões da África, onde

há grande incidência de malária.

Essa alta frequência deve-se à vantagem dos indivíduos heterozigóticos para anemia falciforme, pois são mais resistentes à malária. Os “indivíduos homozigóticos normais” correm alto risco de morte por malária enquanto os “indivíduos homozigóticos para a anomalia” morrem de anemia. Os heterozigóticos, entretanto, apresentam, sob essas condições ambientais, vantagem adaptativa, propiciando a alta taxa de um alelo letal na população.

Exemplos de seleção natural

Resistência a antibióticos ou a inseticidas

A resistência de bactérias a antibióticos e de insetos a inseticidas tem aumentado muito nos últimos anos, havendo sempre a necessidade de se desenvolverem novos antibióticos e novos inseticidas.

Tomemos como exemplo a resistência a antibióticos. Para isso, imaginemos inicialmente a existência de indivíduos adaptados a determinada condição ambiental. Se introduzirmos nesse ambiente certa quantidade de antibiótico, haverá grande mortalidade de bactérias, mas algumas, que já apresentavam mutações que lhes conferem resistência a essa substância, sobreviverão. Estas, por sua vez, ao se reproduzirem originarão indivíduos com características distribuídas em torno de outro tipo médio.

Se esses indivíduos forem submetidos a doses mais altas desse mesmo antibiótico, novamente haverá alta mortalidade e sobreviverão apenas os que já tiverem condições genéticas para resistir a doses mais altas do remédio. Repetindo-se o procedimento, será possível obter populações cada vez mais resistentes ao antibiótico em questão, podendo ocorrer um deslocamento da média das características no sentido da maior resistência a determinada substância.

Coloração de advertência

Alguns animais produzem ou acumulam substâncias químicas nocivas e apresentam coloração vistosa, chamada coloração de advertência, sinalizando que eles não devem ser ingeridos. Quem tenta se alimentar de um desses organismos, aprende a não mais comer outro semelhante.

Um exemplo é a borboleta-monarca, que possui coloração laranja e preta muito vistosa, sendo um animal facilmente visível no ambiente. Essa espécie de borboleta produz substâncias que as tornam não-palatáveis aos seus predadores. Eles aprendem a associar o padrão de coloração ao sabor desagradável e evitam capturar essas borboletas.



Fotografia de borboleta-monarca. Mede cerca de 4 cm de comprimento.

Fábio Colombrini

Camuflagem e mimetismo

A ação da seleção natural também é verificada no estabelecimento de características que tornam os organismos semelhantes a outros ou a objetos do ambiente, de modo que passam despercebidos de seus predadores ou estes às suas presas.

É o caso de certos animais que são menos predados, pois, por seleção natural, passaram a ter uma coloração que os torna imperceptíveis no meio, combinando seu padrão de cor com o do ambiente: cascas de árvores, cor da areia, galhos e folhas, por exemplo.

Por outro lado, certos predadores também podem apresentar a cor do meio de modo que a presa não percebe sua presença e é mais facilmente capturada.



Stock Photos

Fotografia de serpente com cerca de 60 cm de comprimento, que apresenta coloração semelhante à do meio. Com isso, fica menos visível aos predadores e captura mais facilmente suas presas, aumentando sua chance de sobrevivência.

Além da cor, certos animais passaram a ter, também por seleção natural, a forma e a cor de estruturas do meio onde vivem. É o caso dos insetos bicho-folha e bicho-pau, que se assemelham a folhas e gravetos, respectivamente. Esses casos são chamados **camuflagem**.



Wildlife/Grupo Keystone

Fotografia de inseto semelhante a uma folha (bicho-folha). Mede cerca de 6 cm de comprimento.

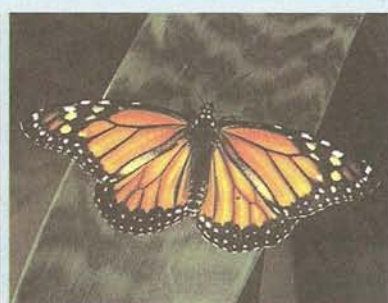


Wildlife/Grupo Keystone

Fotografia de inseto semelhante a gravetos (bicho-pau). Mede cerca de 6 cm de comprimento.

Existem casos de animais e plantas de sabor agradável para quem deles se alimenta (palatáveis) que, por ação da seleção natural, passaram a se assemelhar a outras espécies não-palatáveis, de modo a confundir seus predadores. É o que ocorre com a borboleta-vice-rei, palatável a pássaros, que se assemelha à borboleta-monarca, não-palatável. Esses casos são chamados **mimetismo**.

Mark Tomalty/Masterfile



Fábio Colombini

Fotografia de borboleta-vice-rei (esquerda): exemplo de mimetismo em relação à borboleta-monarca (direita). Medem cerca de 4 cm de comprimento.

5.5. Deriva genética

Esse processo ocorre quando a alteração na frequência dos genes é devida ao acaso e não à seleção natural. É o que acontece, por exemplo, quando grandes áreas de uma floresta são dizimadas pelo fogo ou por enchentes, restando apenas alguns indivíduos de certas espécies que não foram atingidas por esses desastres ecológicos. Somente os genes presentes nesses indivíduos comporão o novo conjunto gênico da nova população, e esse conjunto pode não ser representativo da população original.

Um caso particular de deriva genética é o **princípio do fundador**, que se refere ao estabelecimento de uma nova população a partir de poucos indivíduos que emigram de uma população original.

Esses indivíduos serão portadores de pequena fração da variabilidade genética da população de origem, e seus descendentes apresentarão apenas essa variabilidade, até que alelos novos ocorram por mutação. Essa pequena população sofrerá os efeitos da seleção natural, podendo dar origem a uma nova espécie.

O estabelecimento de populações pelo princípio do fundador parece ser um dos métodos mais comuns de dispersão de inúmeras espécies de animais.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Quanto aos conceitos de homologia e analogia:

- estabeleça a diferença entre eles;
- exemplifique-os.

2. Explique o que é órgão vestigial e dê um exemplo.

3. Conceitue fóssil e dê exemplos de diferentes tipos de fósseis.

4. Comente as evidências moleculares e a evolução.

5. Compare as idéias de Lamarck e de Darwin sobre evolução e diga como cada um deles explicaria o seguinte fato: "Os peixes que vivem nas cavernas em completa escuri-

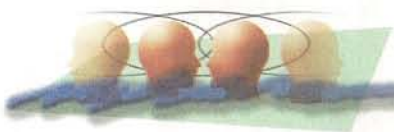
dão são cegos e evoluíram a partir de peixes de visão normal que viviam em rios em que havia luminosidade".

6. Comente como surgiu e o que é a Teoria sintética da evolução.

7. Considerando os fatores evolutivos, diga:

- quais tendem a aumentar a variabilidade genética da população;
- quais atuam sobre a variabilidade genética já estabelecida.

8. Comente a frase: "As mutações são previsíveis e elas ocorrem para adaptar os indivíduos ao meio".



TEXTO PARA DISCUSSÃO

O tempo geológico e o relógio molecular

A escala do tempo geológico está baseada na datação relativa das rochas pelos fósseis. Uma vez que a vida evolui, nenhuma espécie em particular vive para sempre. As espécies vêm e vão ao longo do tempo, e consegue-se reconhecer um certo intervalo de tempo do passado da vida na Terra pelo conjunto de espécies que ocorrem em determinado estrato do sedimento.

A **datação radiométrica** também é usada para se determinar o tempo geológico. Esse processo se baseia no fato de que certos elementos químicos, como urânio, argônio, potássio e carbono, ocorrem em duas ou mais formas, chamadas **isótopos**. Um dos

isótopos pode ser mais instável do que o outro e tem a tendência de se modificar ao longo do tempo, dando origem ao outro isótopo ou mesmo a outro elemento, deixando a radiatividade à medida que esse processo ocorre. Essa taxa de transformação é previsível, e a idade das rochas pode ser estimada se a proporção original entre os dois isótopos é conhecida e pode ser comparada com a proporção atual. A transformação desses isótopos ocorre a uma taxa constante. Mede-se, então, a vida média do isótopo, que corresponde ao tempo médio que transcorre para que metade dos isótopos da amostra se transforme no outro isótopo mais estável.

Dados do tempo geológico podem ser complementados pelo chamado **relógio molecular**. Por meio desse tipo de relógio pode-se estimar o tempo de divergência entre espécies ou estimar datas para eventos evolutivos para os quais não há evidências fósseis. Pode também ser empregado juntamente com dados fósseis e dados estruturais para ajudar a construir a filogenia, que é a história evolutiva de um grupo de organismos relacionados.

O relógio molecular é construído considerando que dentro de um determinado grupo taxonômico as mutações ocorreram em uma taxa relativamente constante ao longo do tempo. Assim, quanto maior for o número de diferenças entre os nucleotídeos de

um mesmo segmento do DNA de uma espécie em relação a outra, maior deve ter sido o tempo em que essas espécies se separaram.

Dados obtidos a partir desses relógios moleculares, no entanto, devem ser analisados com cuidado. As taxas de mutação variam entre genes diferentes e entre grupos taxonômicos pouco relacionados. Apesar de algumas mutações ocorrerem a taxas relativamente constantes para espécies que estão intimamente relacionadas, não é possível definir um relógio molecular único para todos os genes em todas as espécies.

Texto traduzido e adaptado de: Stephen Jay Gould, *The book of life*, 1993, e Solomonm, Berg & Martin, *Biology*, 1999.

- O estudo dos fósseis tem sido de grande ajuda para compreender a evolução, mas nem todos os organismos deixaram registros, pois as partes do corpo fossilizadas costumam ser as mais duras. Raramente as partes moles são preservadas, o que acaba restringindo o uso exclusivo de fósseis na interpretação de como a evolução deve ter ocorrido. Em função disso, os pesquisadores sempre lançam mão de estudos comparados dos seres vivos, sob o ponto de vista anatômico e mesmo molecular. Por que utilizar moléculas para o estudo da evolução de espécies, quando a comparação da morfologia e a análise do registro fóssil podem fornecer boas hipóteses?



TESTES

1. (UFPI) Evolução é um processo biológico apresentado por um (uma):

- a) célula.
- b) tecido.
- c) órgão.
- d) organismo.
- e) população.

2. (UFPA) "As toupeiras atuais têm olhos atrofiados porque seus ancestrais, vivendo sob a terra, não necessitavam de visão. A pouca utilização dos olhos teria feito com que eles atrofiassem, e isso seria transmitido de geração em geração."

A alternativa que traz a justificativa dos fenômenos expressos acima, de acordo com o princípio evolutivo e seu autor, é:

- a) Uso e desuso/Lamarck.
- b) Seleção natural/Darwin.
- c) Transmissão dos caracteres adquiridos/Malthus.
- d) Mutação/De Vries.
- e) Recombinação gênica/Morgan.

3. (Fuvest-SP) Uma idéia comum às teorias da evolução propostas por Darwin e por Lamarck é que a adaptação resulta:

- a) do sucesso reprodutivo diferencial.
- b) de uso e desuso de estruturas anatômicas.
- c) da interação entre os organismos e seus ambientes.

- d) da manutenção das melhores combinações gênicas.
- e) de mutações gênicas induzidas pelo ambiente.

4. (UFSE) O livro *A origem das espécies*, em que Darwin publicou o trabalho completo sobre sua teoria para explicar o mecanismo da evolução, foi publicado em 1859. Atualmente, essa teoria foi:

- a) abandonada, por estar ultrapassada.
- b) modificada, para incluir as leis de Mendel.
- c) substituída pela teoria de Watson e Crick.
- d) mantida apenas para os procariontes.
- e) incorporada à teoria sintética da evolução.

5. (UFSC) Ao formular sua teoria para explicar a evolução dos organismos, o inglês Charles Darwin baseou-se em fatos, tais como:

- (01) em uma espécie, os indivíduos não são exatamente iguais, havendo diferenças que tornam alguns mais atraentes, mais fortes etc.
- (02) populações crescem mais depressa do que a quantidade de alimentos necessária para supri-las.
- (04) caracteres adquiridos são passados às descendências.
- (08) uso demasiado de uma estrutura leva à hipertrofia da mesma.

(16) mutações são muito freqüentes.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (Puccamp-SP) Números iguais de duas variedades de plantas da mesma espécie (I e II) foram introduzidos em determinado ambiente. Depois de diversas gerações, verificou-se que a variedade I tornara-se mais abundante. Com base nesses dados, é correto afirmar que:

- I não foi submetida à ação da seleção natural e, por isso, pôde aumentar em número.
- I sofreu mutações vantajosas, induzidas pelo ambiente, tornando-se mais resistente.
- I apresentou maior capacidade de adaptação ao meio, o que aumentou suas chances de sobreviver e de deixar descendentes.
- II possuía maior número de alelos recessivos que freqüentemente levam à letalidade.
- II, através de um processo de convergência adaptativa, transformou-se progressivamente em I.

7. (PUC-RS) A adequada interpretação evolutiva para a afirmativa:

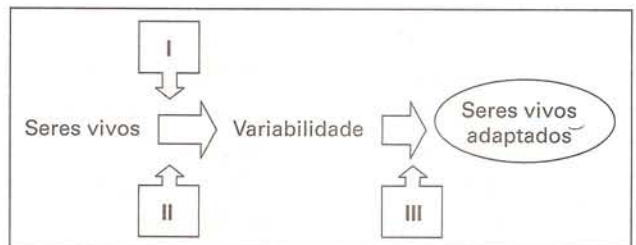
“Bactérias capazes de resistir à ação dos antibióticos aumentam tanto em número que suas populações acabam por substituir as das sensíveis às drogas.”

encontra-se em:

- Devido à seleção natural, os indivíduos se tornam resistentes às diferentes drogas, sobrevivem e deixam descendentes.
- A transmissão dos caracteres adquiridos diminui a resistência de alguns indivíduos, que acabam morrendo.
- A ação mutagênica dos antibióticos induz mutações que tornam os indivíduos resistentes à própria droga.

- Graças à variabilidade genética, decorrente de mutações no DNA, os indivíduos mais resistentes são selecionados.
- A taxa de mutação nos indivíduos sensíveis ao antibiótico é superior à taxa de mutação dos indivíduos resistentes.

8. (UFV-MG) Os processos evolutivos dos seres vivos estão fundamentados em 3 mecanismos básicos, conforme representados no esquema abaixo. Um deles (I) representa a única fonte de variabilidade nova. Esta variabilidade é aumentada pelo segundo (II) e diminuída pelo terceiro (III).



Indique a alternativa que corresponde aos números I, II e III, respectivamente:

- Mutação, seleção natural, recombinação.
- Recombinação, deriva genética, migração.
- Mutação, recombinação, seleção natural.
- Seleção natural, migração, recombinação.
- Recombinação, seleção natural, mutação.

9. (UFPI) Ao observarmos o vôo de uma ave e o vôo de um inseto, podemos deduzir que as asas de cada um funcionam e são utilizadas para um mesmo objetivo. Entretanto, a origem embriológica das asas de aves e insetos é diferente. Essas características constituem exemplo de:

- seleção natural.
- seleção artificial.
- convergência evolutiva.
- seleção sexual.
- mimetismo.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFPB) Sabendo que os fósseis constituem uma das principais evidências da evolução biológica:

- explique o que são fósseis;
- cite uma informação, importante para o entendimento da evolução, que pode ser obtida através do estudo dos fósseis.

2. (Unicamp-SP) “Desde 1995 alguns estados norte-americanos estão excluindo o ensino da teoria da evolução biológica dos seus currículos escolares alegando, entre outras razões, que ninguém estava presente quando a vida surgiu na Terra. Alguns cientistas defendem a teoria da evolução argumentando que, se é necessário ‘ver para crer’, então não poderemos acreditar na existência dos átomos, pois estes também não podem ser vistos.”

(Adaptado de *IstoÉ*, 25/08/1999.)

- Apresente três evidências que apóiam a teoria da evolução biológica.
- A mutação gênica é considerada um dos principais fatores evolutivos. Por quê?

3. (UFRN) Um pesquisador realizou o seguinte experimento: tomou duas variedades de mariposas, uma de asas claras e outra de asas escuras. Introduziu essas mariposas num ambiente em que havia pássaros predadores. Modificou o ambiente, tornando-o gradativamente escuro. Depois de um certo tempo, observou aumento no número de indivíduos da variedade escura.

Como Lamarck e Darwin explicariam, respectivamente, esse resultado?

4. (Unesp-SP) Maurício, com a intenção de alegrar a aula de Biologia, fez a seguinte trova:

“Cobra-cega não é do mato,
nem Joaninha é carrapato,
golfinho não é tubarão,
mas também vive no mar,
morcego não é gavião,
porém gosta de voar.”

- a) De acordo com a trova de Maurício, responda a que classes pertencem os animais sublinhados no texto.
- b) Identifique na trova os animais que constituem exemplos de convergência adaptativa. Justifique.

5. (Unicamp-SP) Em 1950, o vírus mixoma foi introduzido em uma região da Austrália para controlar o grande aumento de coelhos europeus. O primeiro surto de mixomatose matou 99,8% dos coelhos infectados. O surto seguinte matou 90%. No terceiro surto somente 40 a 60% dos coelhos infectados morreram e a população voltou a crescer novamente. O vírus é transmitido por mosquitos que só picam coelhos vivos. O declínio da mortalidade dos coelhos foi atribuído a fatores evolutivos.

- a) Do ponto de vista evolutivo, o que ocorreu com a população de coelhos?
- b) Como os mosquitos podem ter contribuído para a diminuição da mortalidade dos coelhos?

6. (Unicamp-SP) Em uma determinada espécie, flores amarelas representam uma adaptação bem-sucedida em relação a um certo polinizador. Todos os indivíduos atuais dessa espécie apresentam flores amarelas, mas, há muito tempo, existiram flores de outras cores. Cite a teoria que explica esse fato e descreva o processo que levou à existência de uma única cor para as flores dessa espécie.

7. (Unesp-SP) Em se tratando de evolução, o que nos mostra a existência de órgãos homólogos e de órgãos análogos?

Genética de populações e especiação

1. Introdução

No capítulo anterior vimos que a unidade evolutiva é a população e que existem vários fatores evolutivos responsáveis por alterações nas frequências gênicas da população. Os principais fatores evolutivos considerados pela teoria sintética da evolução são: **mutação, permutação, migrações, seleção natural e deriva genética**.

Vamos agora aprender a calcular as frequências gênicas e genotípicas das populações e depois analisar uma das maneiras pelas quais ocorre o processo de especiação. A evolução humana será analisada no final do capítulo.

2. Frequências gênicas e frequências genotípicas

A composição genética de uma população pode ser conhecida calculando-se as frequências de genes e as frequências de genótipos nessa população.

Vamos determinar, como exemplo, a frequência gênica e a genotípica de uma população que apresenta as seguintes características:

Genótipos	Nº de indivíduos
AA	3 600
Aa	6 000
aa	2 400
Total	12 000

A frequência dos alelos **A** ou **a** nessa população pode ser calculada do seguinte modo:

$$\text{Frequência de um alelo} = \frac{\text{nº total desse alelo}}{\text{nº total de alelos para aquele locus}}$$

A frequência do alelo **A** é:

$$\begin{aligned} 3\,600 \text{ indivíduos AA} &\longrightarrow \text{nº de alelos A} = 7\,200 \\ 6\,000 \text{ indivíduos Aa} &\longrightarrow \text{nº de alelos A} = 6\,000 \\ \hline \text{Total de alelos A} &= 13\,200 \end{aligned}$$

O número total de alelos na população para esse locus é 24 000, pois são 12 000 indivíduos diplóides, cada um com dois alelos para o locus em questão:

$$f(A) = \frac{\text{nº total de alelos A}}{\text{nº total de alelos para esse locus}} = \frac{13\,200}{24\,000} = 0,55$$

$$f(A) = 55\% \text{ ou } f(A) = 0,55$$

Para calcular a frequência de **a**, pode-se proceder do mesmo modo ou então utilizar a fórmula que estabelece a relação entre alelos:

$$f(A) + f(a) = 1$$

$$f(a) = 1 - 0,55$$

$$f(a) = 0,45$$

$$f(a) = 45\%$$

Nessa população, as frequências dos alelos **A** e **a** são, portanto, respectivamente:

$$f(A) = 55\%$$

$$f(a) = 45\%$$

A frequência genotípica nesse caso pode ser calculada do seguinte modo:

$$\text{Frequência genotípica} = \frac{\text{nº de indivíduos com determinado genótipo}}{\text{nº de indivíduos da população}}$$

As frequências dos genótipos **AA**, **Aa** e **aa** nessa população são, respectivamente:

$$AA = \frac{3\,600}{12\,000} = 0,30$$

$$Aa = \frac{6\,000}{12\,000} = 0,50$$

$$aa = \frac{2\,400}{12\,000} = 0,20$$

No exemplo dado, o número de indivíduos e a distribuição dos genótipos para determinado par de alelos são conhecidos. A partir dessa população, ou de qualquer outra, pode-se estimar a frequência gênica e a genotípica da geração seguinte com base no teorema e na fórmula de Hardy-Weinberg, cuja utilização apresenta certas restrições, como veremos a seguir.

3. Teorema de Hardy-Weinberg

Formulado em 1908 pelos cientistas Hardy e Weinberg, esse teorema tem o seguinte enunciado:

Em uma população infinitamente grande, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso e sobre a qual não há atuação de fatores evolutivos, as frequências gênicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações.

Esse teorema só é válido, portanto, para populações:

- infinitamente grandes;
- com cruzamentos ao acaso (**panmítica**; *pan* = todos; *mítica* = misturar);
- isentas de fatores evolutivos, como mutação, seleção natural e migrações.

Uma população assim caracterizada encontra-se em equilíbrio genético.

A importância do teorema de Hardy-Weinberg para as populações naturais está no fato de ele estabelecer um modelo para o comportamento dos genes. Assim, é possível estimar frequências gênicas e frequências genotípicas ao longo das gerações e compará-las com as obtidas na prática.

Se os valores observados forem significativamente diferentes dos valores esperados, pode-se concluir que fatores evolutivos estão atuando sobre essa população e que ela está evoluindo. Se os valores não diferirem significativamente, pode-se concluir

que a população está em equilíbrio e, portanto, não está evoluindo.

A fórmula que expressa o teorema de Hardy-Weinberg é:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Nessa representação, **p** é a frequência de um alelo e **q** é a frequência do outro alelo.

Imaginemos, por exemplo, que uma população tenha as seguintes frequências gênicas:

p = frequência do alelo **B** = 0,9

q = frequência do alelo **b** = 0,1

Pode-se estimar a frequência genotípica dos descendentes utilizando a fórmula de Hardy-Weinberg:

p^2	+	$2pq$	+	q^2	=
↓		↓		↓	
$= (0,9)^2$	+	$2 \cdot (0,9) \cdot (0,1)$	+	$(0,1)^2$	=
= 0,81	+	0,18	+	0,01	
↓		↓		↓	
81% BB		18% Bb		1% bb	

Se a população estiver em equilíbrio, a frequência se manterá constante ao longo das gerações. Se, no entanto, verificarmos que os valores obtidos na prática são significativamente diferentes desses esperados pela fórmula de Hardy-Weinberg, a população não se encontra em equilíbrio genético e, portanto, está evoluindo.

Vamos discutir como a interação de todos esses fatores pode originar espécies novas.

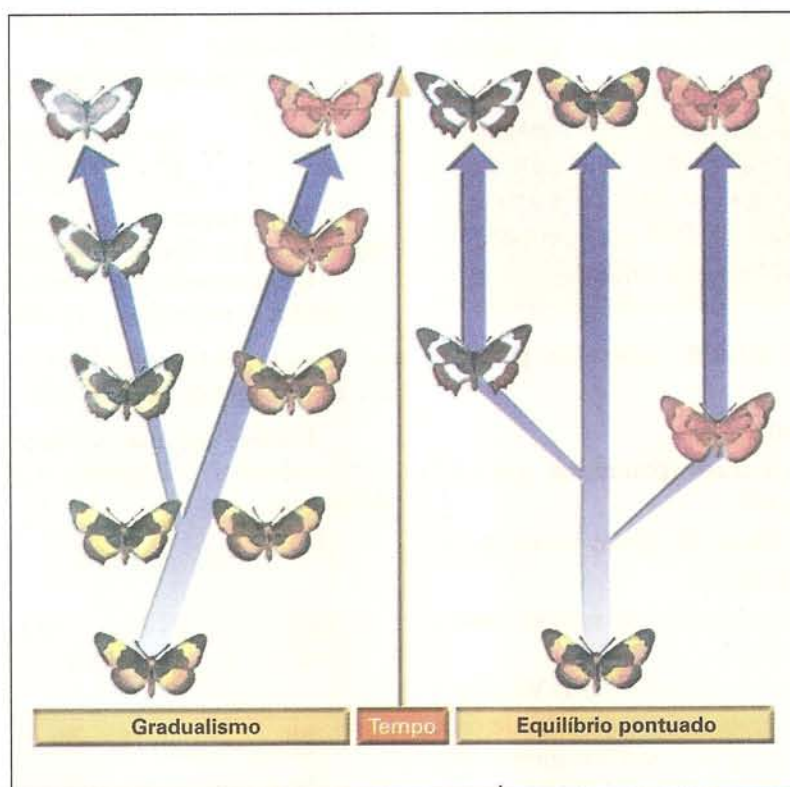
4. Gradualismo e equilíbrio pontuado

Nas teorias de evolução, desde Darwin, em 1859, até 1972, propunha-se basicamente que a especiação fosse um evento lento e gradual que ocorre pelo acúmulo de pequenas mudanças ao longo do tempo, falando-se em **gradualismo**.

Em 1972, dois cientistas americanos, Stephen Jay Gould e Niles Eldredge, propuseram a **Teoria do equilíbrio pontuado**, uma nova maneira de entender a especiação. Eles se perguntavam por que não conseguiam encontrar no registro fóssil as mudanças graduais nos organismos que sempre se acreditou que ocorressem na evolução. Em vez disso, encontravam súbitas aparições de espécies fósseis (súbitas em termos

geológicos, embora fossem lentas na escala de tempo da vida humana), seguidas de longos períodos sem que esses organismos sofressem mudanças.

Os biólogos tradicionalmente atribuíam essas dificuldades em encontrar formas intermediárias ao fato de os registros fósseis serem incompletos e falhos. Jay Gould e Eldredge contestaram essa visão e propuseram que tanto a aparição repentina de várias espécies quanto os longos períodos sem mudanças nos organismos são reais, e não decorrentes de falhas nos registros fósseis. Segundo esses cientistas, há períodos de milhões de anos em que as espécies não sofrem alterações, mas de repente surgem novas espécies, que se diversificam rapidamente em escala geológica, seguindo-se a esse período de rápida especiação outro período de equilíbrio. Isso originaria as pontuações de mudanças rápidas num cenário de equilíbrio constante, daí o nome da teoria.



Esquema de dois modelos de especiação considerando o fator tempo: no **gradualismo** as espécies descendem de um ancestral comum e vão sofrendo modificações graduais ao longo do tempo, relacionadas com a adaptação ao meio; no **equilíbrio pontuado** as espécies descendem de um ancestral comum por mudanças rápidas e depois pouco se modificam ao longo de sua existência.

A **Teoria do equilíbrio pontuado** tem provocado grande polêmica nos meios acadêmicos, com apoio de alguns cientistas e a rejeição de outros. Vamos analisar agora os mecanismos relacionados com a especiação.

5. Anagênese e cladogênese

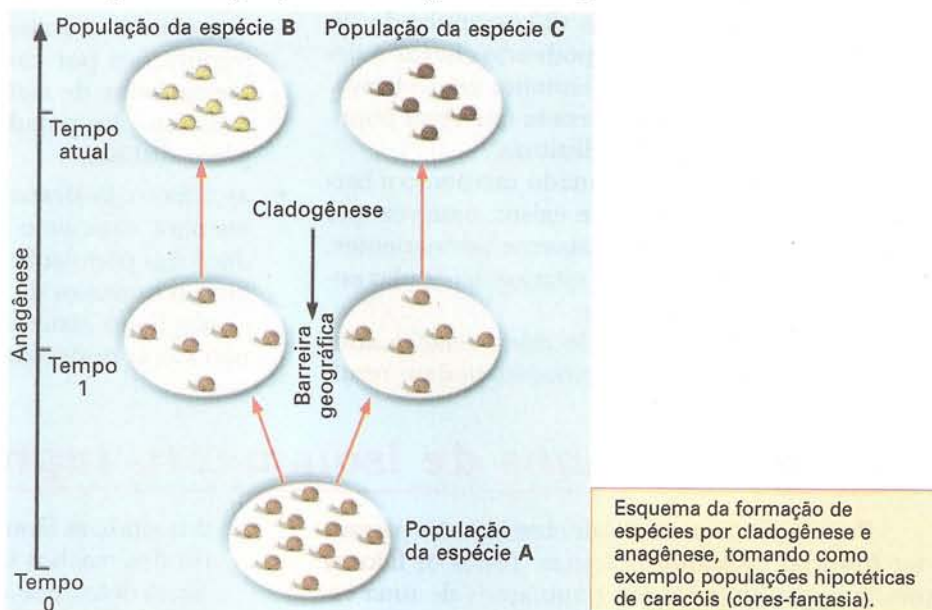
Conforme comentamos, há dois processos básicos envolvidos na especiação: a anagênese e a cladogênese.

A **anagênese** (*ana* = para cima; *genesis* = origem) compreende processos pelos quais um caráter surge ou se modifica numa população ao longo do tempo, sendo responsável pelas “novidades evolutivas”. São exemplos de eventos anagenéticos a **mutação** e a **permutação**. A **seleção natural** atua sobre a variabilidade genética da população, selecio-

nando os organismos mais bem adaptados a determinada condição ambiental.

A **cladogênese** (*clado* = ramo) compreende processos responsáveis pela ruptura da coesão original em uma população, gerando duas ou mais populações que não podem mais trocar genes entre seus indivíduos. Essa ruptura pode ocorrer em função do fenômeno da deriva genética, do surgimento de barreiras geográficas e mesmo da ocorrência de mutações. Se permanecerem separadas, sem trocar genes,

cada uma dessas populações passa a ter sua própria história evolutiva e, em função dos eventos anagenéticos, essas populações modificam-se ao longo do tempo, podendo originar uma espécie distinta.



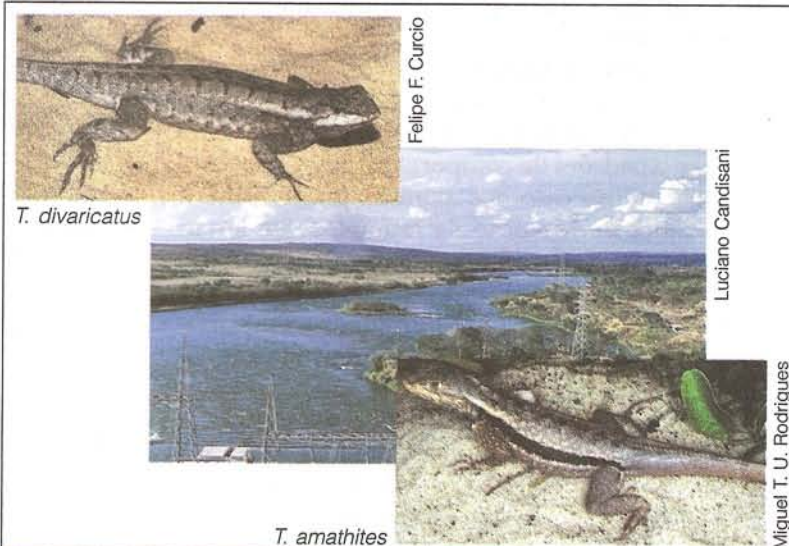
Vamos analisar agora um evento cladogenético: o surgimento de barreiras geográficas (isolamento geográfico).

6. Especiação por isolamento geográfico

Esse mecanismo pode ser explicado simplificadaamente utilizando-se como exemplo uma população que vive em determinada área geográfica em dado momento.

Suponhamos que o ambiente onde se encontra essa população sofra alterações bruscas, como modificações climáticas ou eventos geológicos (terremotos, formações de montanhas etc.). Essas alterações podem determinar o surgimento de faixas de território em que a permanência dos indivíduos da população inicial torna-se impossível, separando essa população em duas ou mais. Quando isso ocorre, essas faixas desfavoráveis são denominadas barreiras ecológicas ou barreiras geográficas. Quando as barreiras são muito grandes e as áreas de sobrevivência são relativamente muito pequenas, estas recebem o nome de **refúgios**.

As barreiras ecológicas impedem a troca de genes entre os indivíduos das populações por elas separadas, fazendo com que novas variabilidades genéticas surgidas em uma das populações não sejam transmitidas para a outra. Além disso, dificilmente as condições do ambiente nas áreas se-



Pesquisadores brasileiros vêm registrando vários casos de especiação por isolamento geográfico no Brasil. Esta montagem de fotografias refere-se ao que ocorreu com espécies animais às margens do rio São Francisco. Há milhares de anos esse rio desaguava num lago, e há mais ou menos 12 mil anos "encontrou" um caminho para o mar, separando duas populações de uma espécie de lagarto. Hoje são encontradas duas espécies de lagartos que se enterram na areia: *Tropidurus amathites*, na margem direita do rio, e *Tropidurus divaricatus*, na margem esquerda. A forma ancestral era bastante similar ao *T. amathites*. Essas espécies apresentam ecologia praticamente idêntica e têm aproximadamente o mesmo tamanho: cerca de 15 cm de comprimento.

paradas pela barreira são exatamente as mesmas, o que determina diferentes pressões seletivas. Então, as populações assim separadas vão acumulando diferenças ao longo do tempo, podendo chegar a desenvolver mecanismos de isolamento reprodutivo. Quando isso acontece, considera-se que essas populações pertencem a espécies distintas.

Entretanto, em determinado momento a barreira ecológica pode deixar de existir, uma vez que as barreiras não são necessariamente permanentes. Nesse caso, as populações que estavam separadas entrarão novamente em contato.

Dependendo do grau de diferenciação atingido durante o período de separação, podem resul-

tar desse novo contato as seguintes alternativas:

- as diferenças desenvolvidas atingiram tal ponto que não há cruzamento entre os indivíduos das populações por causa do desenvolvimento de mecanismos de isolamento reprodutivo; assim, cada uma das populações é considerada uma **espécie distinta**;
- as diferenças desenvolvidas não foram suficientes para impedir o cruzamento entre os indivíduos das populações, pois não foram estabelecidos mecanismos de isolamento reprodutivo. Havendo fluxo gênico entre essas populações, elas não são consideradas espécies diferentes.

7. Os mecanismos de isolamento reprodutivo

Populações reprodutivamente isoladas passam a ter histórias evolutivas próprias. Todos os fatores evolutivos que atuam sobre populações de uma espécie terão uma resposta que pode ser bem diferente da resposta manifestada por populações de outras espécies. Dessa forma, o isolamento reprodutivo é um importante fator determinante da enorme diversidade do mundo biológico.

Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem ser classificados do seguinte modo:

- **mecanismos pré-zigóticos:** impedem a fecundação. São eles:
 - **isolamento estacional:** diferenças nas épocas reprodutivas;
 - **isolamento de hábitat** ou **ecológico:** ocupação diferencial de habitats;
 - **isolamento etológico:** o termo etológico refere-se a padrões de comportamento, o que é importante no caso dos animais, pois envolve a produção e recepção de estímulos que levam machos e fêmeas à reprodução. Esses estímulos são típicos para cada espécie. Um exemplo desse tipo de incompatibilidade comportamental levando ao isolamento reprodutivo são os sinais luminosos emitidos por vaga-lumes machos, cuja variação depende da espécie. A fêmea só responde ao sinal emitido pelo macho da sua própria espécie. Esses sinais variam na frequência, na duração da emissão e na cor (desde branco, azulado, esverdeado, amarelo, laranja até vermelho). Outro exemplo dessa incompatibilidade comportamental é o coaxar

dos sapos: as fêmeas são atraídas para o território dos machos da sua espécie em função do canto deles, que é específico;

- **isolamento mecânico:** diferenças nos órgãos reprodutores, impedindo a cópula;
- **mortalidade gamética:** fenômenos fisiológicos que impedem a sobrevivência de gametas masculinos de uma espécie no sistema genital feminino de outra espécie;
- **mecanismos pós-zigóticos:** relacionados ao que ocorre com o zigoto híbrido e o indivíduo que pode vir a ser formado a partir dele. São eles:
 - **mortalidade do zigoto:** se ocorrer fecundação entre gametas de espécies diferentes, o zigoto poderá ser pouco viável, morrendo devido ao desenvolvimento embrionário irregular;
 - **inviabilidade do híbrido:** indivíduos resultantes do cruzamento entre seres de duas espécies são chamados híbridos interespecíficos. Embora possam ser férteis, são inviáveis por sua inferioridade adaptativa ou menor eficiência para a reprodução;
 - **esterilidade do híbrido:** a esterilidade do híbrido pode ocorrer pela presença de gônadas anormais ou problemas decorrentes de meiose anômala. É o caso da mula e do burro, híbridos estéreis resultantes do cruzamento entre o jumento (*Equus asinus*) e a égua (*Equus caballus*), ou entre a jumenta e o cavalo.

Assim, o isolamento reprodutivo total entre duas espécies deve-se, em geral, a vários fatores, dentre os quais um pode ser mais efetivo do que outro.

8. Evolução humana

A evolução humana é um assunto que ainda gera muita discussão. Vamos apresentar, de forma resumida, uma das hipóteses.

Ao classificarmos os seres vivos, mencionamos que estamos procurando conhecer sua história evolutiva. Isso não é diferente para a espécie humana.

Observe a classificação da espécie humana, desde reino até espécie:

Reino:	Animalia
Filo:	Chordata
Subfilo:	Vertebrata
Classe:	Mammalia
Ordem:	Primata
Subordem:	Antropoidea
Superfamília:	Hominoidea
Família:	Hominidae
Gênero:	<i>Homo</i>
Espécie:	<i>Homo sapiens</i>

A espécie humana pertence ao subfilo dos vertebrados, classe dos mamíferos. Os vários grupos de mamíferos evoluíram em linhas diferentes, originando várias ordens. A linha evolutiva que deu origem ao ser humano apareceu há cerca de 15 milhões de anos, quando surgiram certas características em alguns mamíferos permitindo-lhes subir em árvores. Esses mamíferos são classificados no grupo dos primatas e apresentam as seguintes características:

- cinco dedos nas patas (antes do surgimento da postura ereta, mãos e pés são genericamente chamados patas);
- polegar disposto em ângulo de 90° em relação aos demais dedos, permitindo a esses animais segurarem objetos e agarrarem-se firmemente aos galhos das árvores;
- grande mobilidade dos membros posteriores e anteriores em relação ao tronco, conferindo ampla variedade de movimentos, o que possibilitou aos primatas pular de galho em galho;



Tom Brakelield/Corbis

Fotografia de primata. Observe a firmeza com que se segura nos galhos.

- visão tridimensional, que lhes proporcionou a noção de profundidade, fundamental para a vida nas árvores, pois um erro de percepção pode provocar uma queda e até mesmo a morte;
- comportamento social com intenso cuidado com a prole, principalmente nos primeiros anos de vida. A complexidade do comportamento social que surgiu no grupo dos primatas foi um importante fator em sua evolução, pois se relaciona com o desenvolvimento do encéfalo.

Os primatas dividem-se em duas subordens:

- **Prossímios:** representados pelos tãrsios, encontrados nas Filipinas e Índias Orientais; pelos lêmures, que vivem na ilha de Madagascar; e pelos lorises, que habitam certas regiões da África e da Ásia;



Kevin Schafer/Corbis

Fotografia de tãrsio. Mede cerca de 35 cm de comprimento, sem considerar a cauda. Vive em Sumatra, Bornéu, Célebes e nas Filipinas. É um animal noturno e alimenta-se principalmente de insetos.



Chris Rainier/Corbis

Fotografia de lêmur. Mede cerca de 40 cm de comprimento, sem considerar a cauda. Típicos da ilha de Madagascar, os lêmures são ágeis saltadores e em geral onívoros.

- **Antropóides:** representados pelos macacos e pelos seres humanos. São os primatas mais especializados, com encéfalo mais desenvolvido.

Dentre os antropóides diferenciaram-se três linhas evolutivas:

- a dos macacos do Novo Mundo, representados por sagüis, micos e macacos-prego;
- a dos macacos do Velho Mundo, representados pelos babuínos, macacos *Rhesus* e mandris;
- a da Superfamília Hominoidea, formada pela Família Hylobatidae (representada pelo gibão), pela Família Pongidae (que reúne os macacos antropóides recentes, representados pelo gorila, chimpanzé e orangotango), e pela Família Hominidae (que reúne o ser humano e seus ancestrais fósseis mais próximos).

Leandro Giatti/Stock Brazil



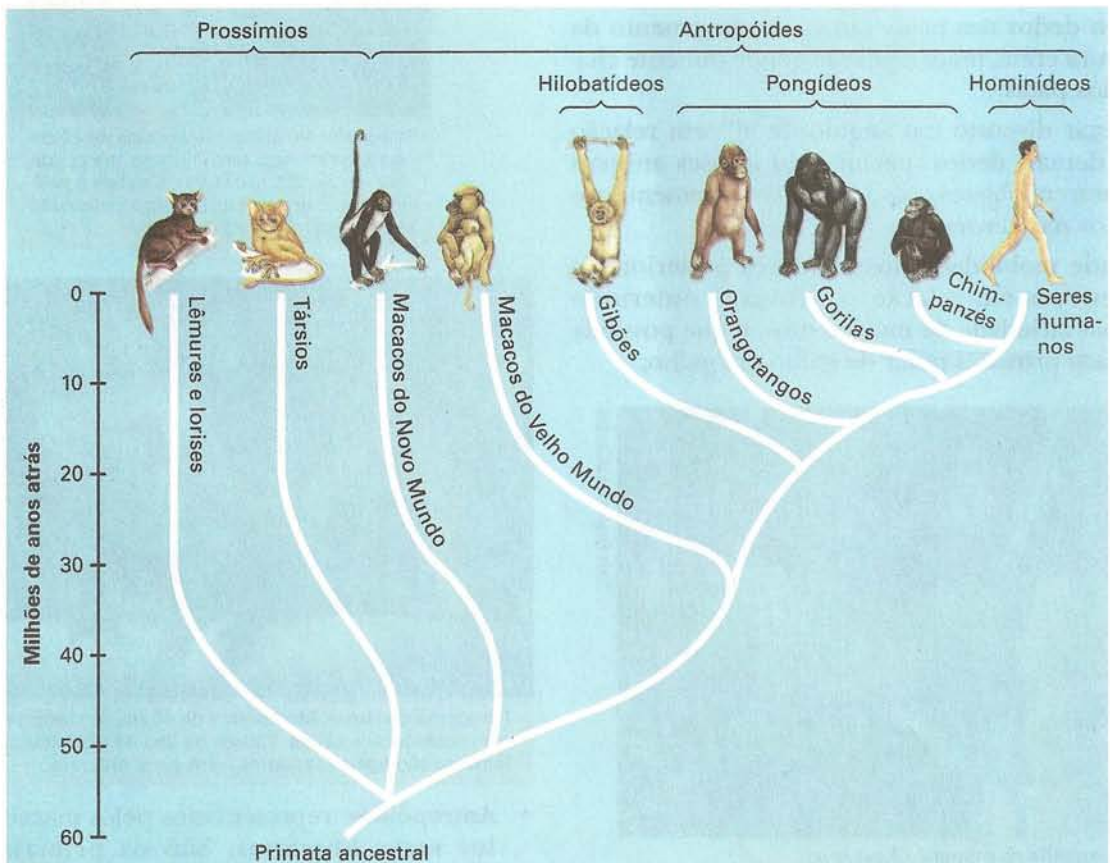
Fotografia de gibão. Os gibões vivem nas florestas do Sudeste da Ásia e são muito ágeis nas árvores.



Gary W. Carter/Corbis

Fotografia de gorila. Um macho adulto pode pesar mais de 180 kg. Os gorilas são animais vegetarianos e vivem na África Central.

Veja a seguir um esquema que mostra a relação evolutiva entre os primatas:

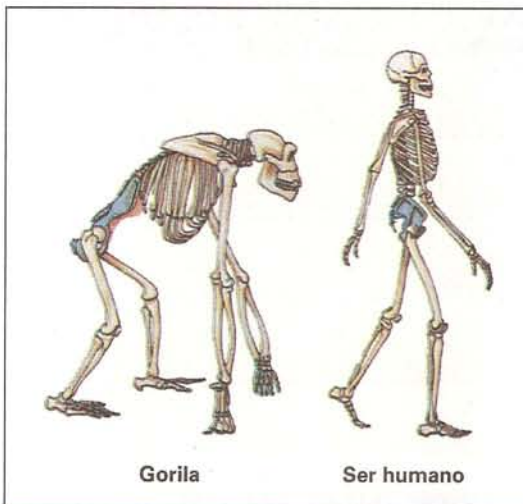


Cladograma simplificado mostrando as prováveis relações evolutivas entre os primatas. (Elementos representados fora de proporção.)

Vamos analisar então a evolução do ser humano a partir do momento em que começou a ocorrer o surgimento de organismos classificados dentro da Família Hominidae (hominídeos).

8.1. Os hominídeos

Os primeiros hominídeos foram primatas que começaram a desenvolver a postura ereta ou postura bípede, deslocando-se apenas com os membros posteriores, que passaram a ser chamados pernas, e apoiados sobre as patas posteriores, denominadas pés. Os membros anteriores e as patas anteriores, agora chamados respectivamente braços e mãos, ficaram liberados para exercer outras funções, não mais relacionadas ao deslocamento. Além disso, as pernas tornaram-se mais longas do que os braços.

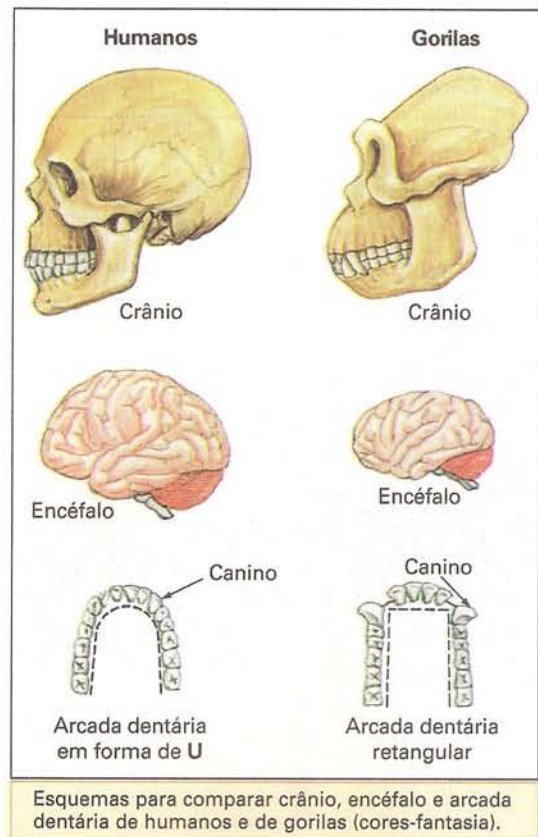


Esquema em cores-fantasia de esqueletos representados para mostrar de forma comparativa a postura de um gorila e a de um ser humano. Note a postura humana ereta ou bípede.

O surgimento dessas características permitiu aos hominídeos “descerem das árvores”, provocando uma mudança no modo de vida, que passou a ser ligado ao solo. Assim, eles abandonaram as florestas e passaram a ocupar campos e savanas.

Outra característica da linhagem dos hominídeos foi o aumento da massa encefálica, acompanhado do aumento de volume do crânio. A face do ser humano é mais achatada que a dos macacos antropóides, e os tipos de dentes e sua disposição também são diferentes: nos hominídeos os dentes se dispõem em U e os caninos são reduzidos, enquanto nos macacos antropóides os dentes se dispõem formando um retângulo e os caninos são bem desenvolvidos. As alterações na dentição permitiram

que os hominídeos explorassem maior variedade de alimentos.

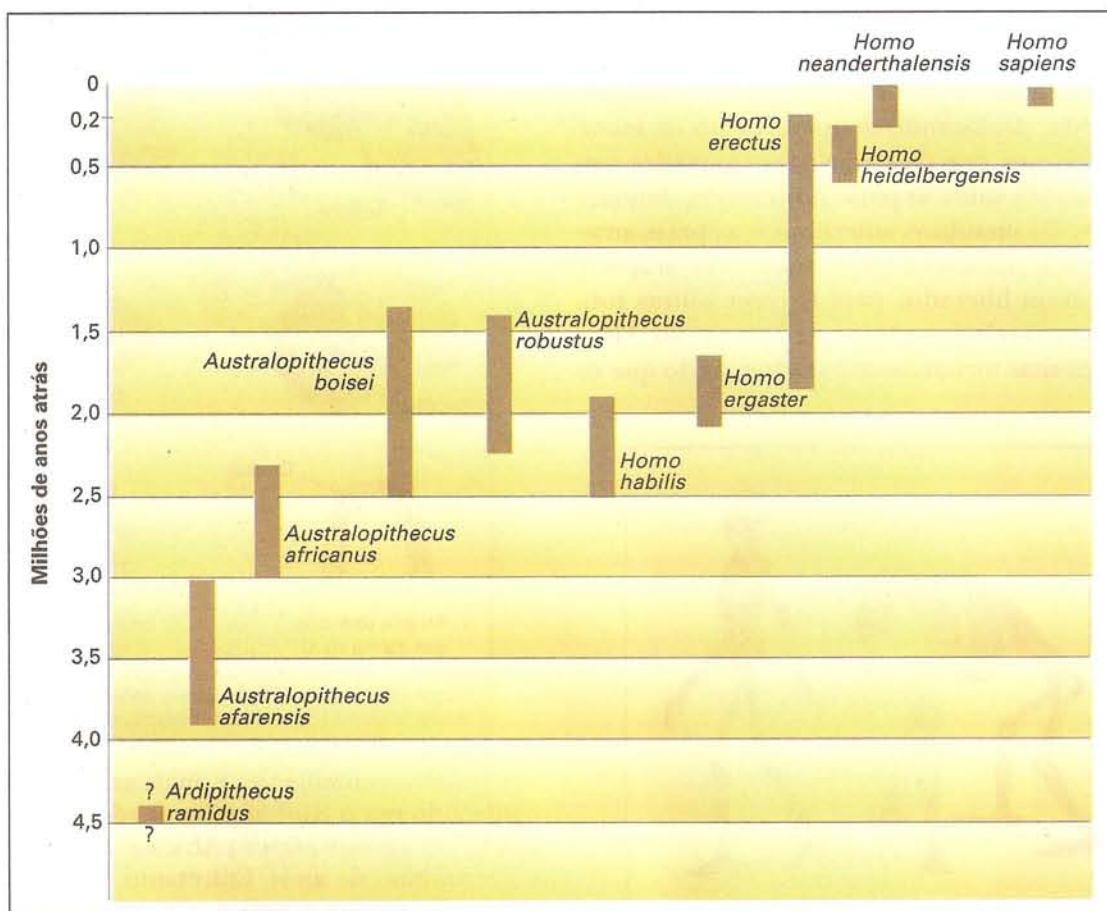


Esquemas para comparar crânio, encéfalo e arcada dentária de humanos e de gorilas (cores-fantasia).

Até recentemente, o mais antigo hominídeo conhecido era o *Australopithecus afarensis*, cujos fósseis foram encontrados na África e datados entre 3,9 e 2,9 milhões de anos. Entretanto, novas descobertas de fósseis mostraram que os primeiros hominídeos surgiram na África há cerca de 4,4 milhões de anos e foram classificados como *Ardipithecus ramidus*. Outros fósseis de outras espécies também foram encontrados e datados entre 4,2 e 3 milhões de anos. Assim, a origem dos hominídeos é anterior ao que se pensava até bem pouco tempo atrás, e essas descobertas destituíram o *A. afarensis* de sua posição de mais antiga espécie de hominídeo conhecida.

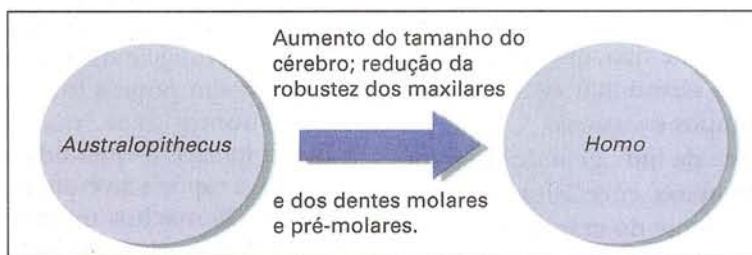
Existem poucas informações sobre esses primeiros hominídeos, mas sobre *Australopithecus afarensis* há maior quantidade de dados. Os indivíduos dessa espécie viveram na África e tinham baixa estatura. Os machos tinham cerca de 1,50 m e as fêmeas, 1,10 m. Pesavam entre 30 e 45 kg e o crânio apresentava pequeno volume (cerca de 380 a 450 cm³, não muito maior do que o de um chimpanzé, cujo volume varia de 300 a 400 cm³). Um esqueleto fóssil dessa espécie ficou conhecido pelo nome Lucy, um dos mais famosos fósseis de hominídeos. Supõe-se que esses hominídeos alimentavam-se basicamente de frutos e folhas.

Se pudéssemos voltar à África na época entre 3 e 2 milhões de anos atrás, encontraríamos várias espécies de homínídeos, provavelmente dividindo o mesmo hábitat. Essas espécies podem ser classificadas em dois grupos: os **australopithecíneos**, cujos membros possuíam cérebro pequeno, pré-molares e molares grandes, e os do Gênero **Homo**, cujos representantes possuíam cérebro maior e dentes pré-molares e molares menores. Assim, algumas espécies de australopithecíneos coexistiram com as primeiras espécies do Gênero *Homo*.



Esquema de linha do tempo mostrando algumas das espécies de homínídeos. Note que num mesmo período da história da evolução humana coexistiram mais de duas espécies de homínídeos.

Supõe-se que a transição entre os gêneros *Australopithecus* e *Homo* tenha sido acompanhada de aumento do crânio e redução da robustez dos maxilares e dos dentes molares e pré-molares. Essa tendência teve continuidade na evolução das espécies dentro do Gênero *Homo*.



Esquema da tendência na transição entre *Australopithecus* e *Homo*.

A evolução do Gênero *Homo* ocorreu na África e está associada ao resfriamento climático do planeta Terra há cerca de 2,5 milhões de anos. Descobertas recentes de fósseis têm mostrado que esse gênero deve ter surgido há pelo menos 2,4 milhões de anos. A primeira espécie recebeu o nome *Homo habilis*, pois há indícios de que os indivíduos tinham mais habilidade com as mãos do que os australopithecíneos. Nessa espécie o volume craniano já era maior, apresentando cerca de 600 a 700 cm³.

Homo habilis conseguia fazer alguns instrumentos rudimentares a partir de pedras ou ossos. Parte de sua alimentação consistia na carne de animais capturados por predadores, abandonada por esses animais carnívoros ainda incompletamente consumida.



Christian Jegou/SPL

Ilustração de uma reconstituição de *Homo habilis* em seu habitat natural.

Supõe-se que *H. habilis* tenha dado origem a *Homo ergaster* na África há 2 milhões de anos, e imediatamente depois *H. ergaster* teria se expandido para a Ásia, onde originou o *Homo erectus*. Indivíduos pertencentes a esta última espécie, antigamente denominada *Pithecanthropus erectus*, ficaram popularmente conhecidos por “homens de Java”; essa espécie se expandiu pela Eurásia e alguns indivíduos pertencentes a ela retornaram à África, onde coexistiram com *H. ergaster*.

H. erectus e provavelmente também *H. ergaster* passaram a construir objetos mais aperfeiçoados e começaram a usar o fogo para se aquecer ou cozinhar e a utilizar cavernas como abrigo.

Alguns cientistas propõem que há cerca de 600 mil anos, a partir de um grupo de *H. ergaster* que vivia na África, teria surgido a espécie *H. heidelbergensis*. Esta teria migrado para a Europa, dando origem aos **neandertais**, que viveram exclusivamente na Europa e na Ásia entre 200 mil e 30 mil anos atrás.

Alguns cientistas consideram os neandertais como os primeiros *Homo*

sapiens, mas pertencentes à subespécie *Homo sapiens neanderthalensis*, que seria diferente da subespécie do ser humano moderno: *Homo sapiens sapiens*. Outros cientistas não concordam com essa interpretação e consideram os neandertais como uma espécie distinta: *Homo neanderthalensis*. A denominação neandertal deve-se ao fato de os primeiros esqueletos desses hominídeos terem sido encontrados no vale de Neander, na Alemanha.

Os neandertais viveram numa época em que o clima era muito frio, como reflexo do final da Era glacial do Pleistoceno. Eram nômades, caçadores e formavam grupos. São os **homens das cavernas** das lendas populares, pois usavam cavernas como abrigo, especialmente contra as condições frias do ambiente externo. Alimentavam-se principalmente de mamutes, lemingues, raposas do Ártico e renas, estando adaptados a uma época glacial. Usavam o fogo tanto para se aquecer como para descongelar e cozer alimentos. A pele dos animais era utilizada para fazer roupas e abrigos.

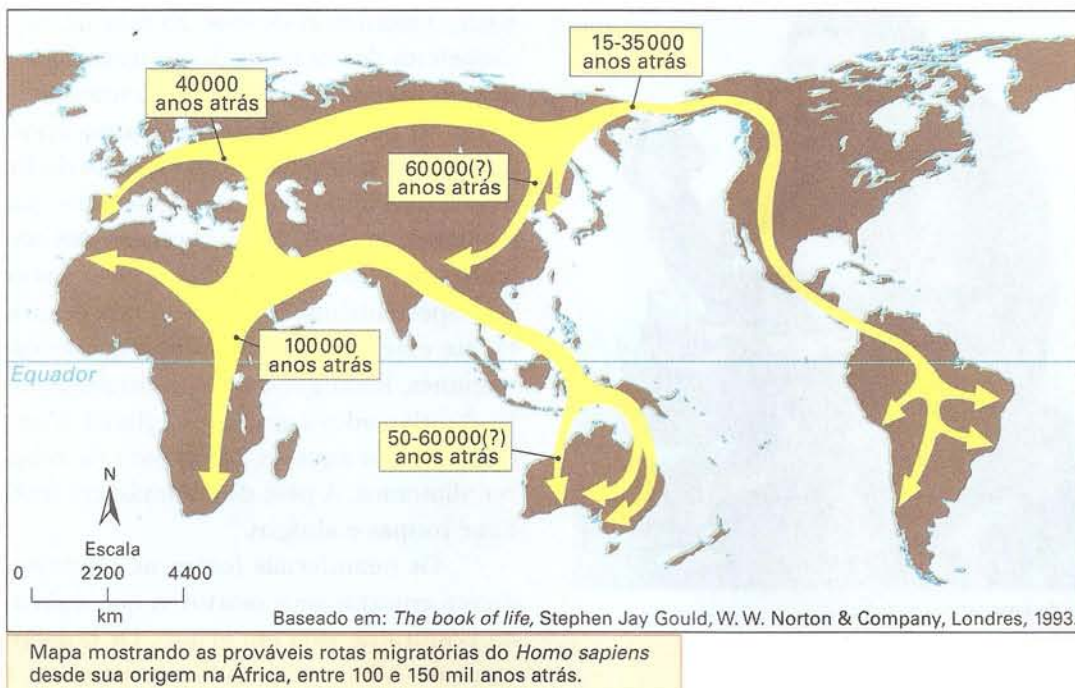
Os neandertais foram os primeiros hominídeos a enterrar seus mortos, o que indica mudança na postura de vida em grupo. Os homens mediam cerca de 1,70 m e as mulheres, cerca de 1,60 m de altura. O volume da caixa craniana era de 1 450 cm³, o que corresponde a aproximadamente 100 cm³ a mais do que o volume da caixa craniana do ser humano moderno. Apesar de maior, os cientistas acham que esses hominídeos apresentavam características de primitividade.



Bettmann/Corbis

Ilustração de uma reconstituição de *Homo neanderthalensis*, os chamados homens das cavernas.

Os primeiros hominídeos que poderiam ser considerados *Homo sapiens sapiens* surgiram na África, entre 150 e 100 mil anos atrás, a partir das espécies *Homo ergaster* ou *Homo erectus* ou, ainda, *H. heidelbergensis*. Depois eles teriam migrado para outros locais, sofrendo mudanças em função das condições climáticas. Da África foram para a Europa e a Ásia; alguns cruzaram os mares e chegaram à Austrália, enquanto outros caminharam por terra na ligação da Ásia com o Alasca, que hoje corresponde ao estreito de Bering. Dessa forma entraram no Alasca e de lá expandiram-se para as Américas.



Provavelmente, essa grande dispersão do *Homo sapiens* foi induzida pelo aumento no número de indivíduos das populações, levando-os a procurar novos territórios para a caça. A capacidade dessa espécie de se adaptar ao meio sempre foi muito grande: onde o clima era hostil, eles elaboravam roupas e construía abrigos. Além disso, desenvolviam artefatos que os ajudavam em diversas atividades nas quais apenas a força das mãos não seria suficiente.

Desde 40 mil anos atrás o homem moderno tem sido encontrado na Europa, e a extinção dos neandertais parece estar ligada a essa ocupação da Europa pelo homem moderno. Esses hominídeos ficaram conhecidos como **homens de Cro-Magnon**, região da França onde os primeiros fósseis foram encontrados. Os dados sugerem que os homens de Cro-Magnon competiram com os neandertais, o que pode ter sido uma das causas da extinção destes na Europa. Porém, essa extinção parece não ter sido provocada por luta entre os dois grupos, mas por um choque de culturas em que o homem de Cro-Magnon, com características mais vantajosas, acabou prevalecendo.

Os cro-magnons eram mais altos que os de Neandertal: os homens tinham cerca de 1,80 m e 70 kg, e as mulheres, 1,70 m e 55 kg, apresentando pernas longas. Apesar de serem tão musculosos quanto os neandertais, os cro-magnons tinham esqueleto mais

leve, eram mais ágeis, apresentavam comportamento social mais complexo, linguagem, simbologias. Além disso, construía ferramentas muito mais elaboradas. Produziam arte, como esculturas, modelos em argila e as famosas pinturas nas cavernas. Faziam também ornamentos, como braceletes e colares. Outros materiais, além da pedra e da madeira, foram explorados pelos cro-magnons para fazer objetos. Passaram a utilizar ossos e marfim para fazer estatuetas, botões, agulhas e outros objetos, até mesmo flautas e apitos, que devem ter sido os primeiros instrumentos musicais.



Ilustração de uma reconstrução dos primeiros *Homo sapiens* em seu habitat natural.

O *Homo sapiens* evoluiu, e nessa evolução ampliou sua capacidade de invenção, sua criatividade, linguagem, memória, organização social, cultura, dentre muitos outros aspectos, chegando ao ser humano que conhecemos hoje.

A evolução da cultura humana

A postura ereta foi a mais radical mudança anatômica na evolução humana. Ela requereu grandes mudanças nos pés, pélvis e coluna vertebral. O aumento do encéfalo foi a segunda grande mudança anatômica. O encéfalo de fetos de animais não-primatas cresce rapidamente, mas o ritmo de crescimento geralmente diminui e pára pouco tempo após o nascimento. Já o encéfalo de fetos de primatas continua crescendo após o nascimento, e o período desse crescimento é maior nos humanos do que nos outros primatas. Além disso, o cuidado com a prole ocorre por um período mais longo na espécie humana do que nos demais primatas, e as crianças têm a possibilidade de aprender com a experiência dos pais.

A essência da cultura humana é a transmissão do conhecimento acumulado ao longo das gerações. A principal maneira pela qual isso ocorre é por meio da linguagem escrita e falada.

A evolução cultural é contínua, mas três momentos são considerados especiais:

- o primeiro começou com os nômades, que caçavam e coletavam alimentos na África há cerca de 2 milhões de anos. Eles construíam ferramentas, realizavam atividades coletivas e divisão de trabalho;
- o segundo momento veio com o desenvolvimento da agricultura na África, na Eurásia e nas Américas, o que ocorreu cerca de 15 a 10 mil anos atrás. Junto com a agricultura veio o estabelecimento permanente de populações, dando origem às primeiras cidades;
- o terceiro estágio na evolução cultural humana ocorreu com a Revolução Industrial, que teve início no século XVIII. Desde então, novas tecnologias têm sido desenvolvidas em escala exponencial.

A evolução cultural fez do *Homo sapiens* uma nova força na história da vida: uma espécie que pode desafiar sua limitação física e sua curta evolução biológica. O ser humano não precisa esperar para se adaptar ao meio pela seleção natural: ele simplesmente muda o ambiente para que fique de acordo com suas necessidades. Mais numerosos e com a maior dispersão dentre todos os animais vertebrados, os seres humanos provocam mudanças no meio, para onde quer que eles vão.

Não há nada de novo na mudança ambiental. A história da vida é a história da evolução biológica num planeta em constantes mudanças. Mas essas mudanças nunca foram tão rápidas quanto estão sendo na era dos humanos. As mudanças introduzidas são mais rápidas do que a capacidade de muitas espécies se adaptarem às mudanças. A taxa de extinção no século XX foi cinquenta vezes maior do que a média estimada para os 100 mil anos anteriores.

Essa alta taxa de extinção é resultado principalmente da destruição do hábitat, decorrente da evolução cultural humana e da superpopulação. Alimentação, vestuário e habitação para cerca de 6 bilhões de pessoas existentes hoje, quantidade que cresce em ritmo acelerado, impõem um enorme esforço sobre a capacidade da Terra de sustentar a vida.

Atualmente, não apenas espécies individuais, mas ecossistemas inteiros, a atmosfera, os oceanos e os rios estão seriamente ameaçados. Os cientistas mal começaram a estudar muitos dos ecossistemas da Terra, e várias espécies podem se tornar extintas antes mesmo de terem sido descobertas.

Das muitas crises que ocorreram na história da vida, o impacto de uma só espécie, a *Homo sapiens*, é o maior de todos.

Adaptado de: Campbell, Reece & Mitchell, *Biology*, 1999.

Para finalizar este capítulo, vamos reproduzir um trecho adaptado do *Livro da vida*, de Stephen Jay Gould:

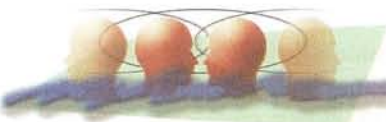
“A humanidade ofereceu um novo campo de ação para a evolução. Nosso poder não termina quando morremos, mas sobrevive em nossa arte, ciência e tecnologia. A seleção natural não pode reduzir o conhecimento eliminando os indivíduos que

o possuem. Conhecimentos que promovem a vida e que a destroem, o melhor e o pior do que sabemos, ficam registrados para sempre. Nós conseguimos encolher o mundo a algumas horas de voo, anexar terras, destruir ou dominar outras espécies, alterar a atmosfera e os oceanos. Nossos planos e decisões vão além de nós, e quanto mais abrangentes eles forem, mais difícil de reparar os danos”.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Conceitue frequência gênica e frequência genotípica.
2. Enuncie o teorema de Hardy-Weinberg e escreva sua fórmula.
3. Especifique em que condições esse teorema pode ser aplicado e diga quais as suas aplicações em populações naturais.
4. Diga o que é anagênese e cladogênese.
5. Caracterize isolamento geográfico e explique como esse evento pode ser responsável pelo processo de especiação.
6. Dê um exemplo em que o isolamento reprodutivo está relacionado com o comportamento animal, impedindo o fluxo gênico.
7. Caracterize os mecanismos de isolamento reprodutivo pré-zigóticos e pós-zigóticos e dê um exemplo de cada.
8. Explique como pode ocorrer especiação por isolamento geográfico.
9. Explique a especiação por mutações cromossômicas.
10. Relacione e explique os tipos de mecanismo de isolamento reprodutivo.
11. Em muitos desenhos animados, como o dos *Flintstones*, e em vários filmes, como *Jurassic Park*, a imaginação humana coloca homens e dinossauros vivendo juntos. Em termos geológicos, qual o tempo aproximado que separa a extinção dos dinossauros do surgimento dos homínideos?
12. Monte um esquema para explicar o que foi discutido sobre a origem e a evolução do *Homo sapiens*, desde o surgimento do *Australopithecus afarensis*.
13. Existe muita discussão para concluir se a espécie humana atualmente sofre os efeitos da seleção natural. Além de modificar o meio, o ser humano produziu avanços na Medicina que têm mantido mutações gênicas que promovem doenças e que por seleção natural teriam sido eliminadas. O desenvolvimento da seleção artificial, da Engenharia genética, com a manipulação do genoma de algumas espécies, inclusive da humana, a produção de transgênicos, a clonagem e tudo o que se tem feito nessa área mostram que o ser humano pode mudar o rumo de sua própria evolução e de outras espécies. Pondere se o ser humano atual realmente não sofre os efeitos da seleção natural ou se tudo o que é capaz de fazer é resultado da seleção natural, que selecionou os humanos com maior capacidade de alterar o meio.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Seleção artificial e melhoramento genético

A seleção artificial já vem sendo feita há tempos pelo ser humano com o intuito de realizar o chamado melhoramento genético dos organismos de interesse comercial. Como exemplos, podem ser citados o aprimoramento do gado de corte ou leiteiro, a geração de diferentes variedades de milho, trigo, soja, tomate etc.

Com relação às plantas, a seleção artificial é um mecanismo comum utilizado há muito tempo pelos agricultores. Atualmente uma nova técnica tem sido utilizada para promover o surgimento de plantas geneticamente idênticas: a cultura de tecidos. Nesse caso, pedaços de folhas, de sementes ou de outras partes das plantas são fragmentados e cultivados em meios que contêm hormônios de crescimento; nascem assim plantas inteiras e geneticamente idênticas entre si.

Apesar de muito úteis, a seleção artificial e a clonagem promovidas, como comentado aqui, levam ao surgimento de organismos com pouca variabilidade genética. Fazendo-se apenas cruzamentos entre indivíduos de um mesmo grupo (endogamia), há maior chance de surgirem descendentes com genes deletérios recessivos em homozigose. Além disso, populações de indivíduos com menor variabilidade genética têm menores chances de sobreviver a alterações do ambiente. Esse é um problema sério nas criações de animais e nas culturas de plantas, pois podem surgir pragas que dizimam todos os organismos, uma vez que são muito semelhantes entre si. Se a variabilidade genética fosse maior, poderia ser que, dentre os indivíduos, alguns já fossem resistentes a essas pragas, sobrevivendo a elas.

- É comum, em algumas raças puras de cães, o surgimento de indivíduos cegos ou com outras anomalias. Como você explicaria isso sob o ponto de vista genético?



TESTES

1. (UFSE) Em uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg, a frequência de certo alelo recessivo é 0,60. A frequência esperada desse alelo após duas gerações é:

- a) 0,60.
- b) 0,36.
- c) 0,30.
- d) 0,20.
- e) 0,15.

2. (UFSM-RS) Os fatores evolutivos responsáveis pelo aumento da variabilidade genética das populações são:

- a) seleção natural e deriva gênica.
- b) mutação e recombinação.
- c) seleção e mutação.
- d) seleção e recombinação.
- e) deriva e recombinação.

3. (ENEM) “Os progressos na medicina condicionaram a sobrevivência de número cada vez maior de indivíduos com constituições genéticas que só permitem o bem-estar quando seus efeitos são devidamente controlados através de drogas ou procedimentos terapêuticos. São exemplos os diabéticos e os hemofílicos, que só sobrevivem e levam vida relativamente normal ao receberem suplementação de insulina ou do fator VIII da coagulação sanguínea”.

SALZANO, M. Francisco. *Ciência Hoje*. SBPC, 21(125), 1996.

Essas afirmações apontam para aspectos importantes que podem ser relacionados à evolução humana. Pode-se afirmar que, nos termos do texto:

- a) os avanços da medicina minimizam os efeitos da seleção natural sobre as populações.
- b) os usos da insulina e do fator VIII da coagulação sanguínea funcionam como agentes modificadores do genoma humano.
- c) as drogas medicamentosas impedem a transferência do material genético defeituoso ao longo das gerações.
- d) os procedimentos terapêuticos normalizam o genótipo dos hemofílicos e diabéticos.
- e) as intervenções realizadas pela medicina interrompem a evolução biológica do ser humano.

4. (Vunesp-SP) Três populações de insetos, **X**, **Y** e **Z**, habitantes de uma mesma região e pertencentes a uma mesma espécie, foram isoladas geograficamente. Após vários anos, com o desaparecimento da barreira geográfica, verificou-se que o cruzamento dos indivíduos da população **X** com os da população **Y** produzia híbridos estéreis. O cruzamento dos indivíduos da população **X** com os da população **Z** produzia descendentes férteis, e o dos indivíduos da população **Y** com os da população **Z** não produzia descendentes. A análise desses resultados permite concluir que:

- a) **X**, **Y** e **Z** continuaram pertencendo à mesma espécie.
- b) **X**, **Y** e **Z** formaram três espécies diferentes.
- c) **X** e **Z** tornaram-se espécies diferentes e **Y** continuou a pertencer à mesma espécie.

d) **X** e **Z** continuaram a pertencer à mesma espécie e **Y** tornou-se uma espécie diferente.

e) **X** e **Y** continuaram a pertencer à mesma espécie e **Z** tornou-se uma espécie diferente.

5. (Fuvest-SP) Considere os seguintes eventos evolutivos:

- I — Extinção dos dinossauros.
- II — Origem das plantas gimnospermas.
- III — Origem da espécie humana.

Qual das alternativas indica a ordem temporal correta em que esses eventos aconteceram?

- a) I → II → III
- b) I → III → II
- c) II → I → III
- d) II → III → I
- e) III → I → II

6. (UFPE) Em relação à evolução do Homem, avalie as seguintes proposições:

0-0 — O Gênero *Homo* tem como ancestrais os australopitecos.

1-1 — Os primeiros homens anatomicamente idênticos ao homem atual, provavelmente, surgiram há mais de 500 000 anos.

2-2 — Todos os fósseis atribuídos a ancestrais do Homem são de gêneros diferentes.

3-3 — O desenvolvimento da capacidade de comunicação propiciou a evolução cultural.

4-4 — O *Homo sapiens* se relaciona estreitamente com chimpanzés e gorilas.

7. (Vunesp-SP) A especiação do *Homo sapiens* tem pouca chance de ocorrer, considerando-se a atual condição da espécie humana. Indique a afirmação que melhor sustenta esta hipótese.

- a) A ciência moderna tem eliminado as mutações humanas.
- b) Os medicamentos atuais diminuem a incidência de doenças.
- c) Os postulados de Darwin não se aplicam à espécie humana.
- d) As alterações ambientais que favorecem a especiação são cada vez menores.
- e) Os meios modernos de locomoção e comunicação têm diminuído ou eliminado os isolamentos geográficos.

Leia o seguinte texto para responder aos testes 8 e 9.

“Se compararmos a idade do planeta Terra, avaliada em quatro e meio bilhões de anos ($4,5 \times 10^9$ anos), com a de uma pessoa de 45 anos, então, quando começaram a florescer os primeiros vegetais, a Terra já teria 42 anos. Ela só conviveu com o homem moderno nas últimas quatro horas e, há cerca de uma hora, viu-o começar a plantar e a colher. Há menos de um minuto percebeu o ruído de máquinas e de indústrias e, como denuncia uma ONG de defesa do meio ambiente, foi nesses últimos sessenta segundos que se produziu todo o lixo do planeta.”

8. (ENEM) O texto acima, ao estabelecer um paralelo entre a idade da Terra e a de uma pessoa, pretende mostrar que:

- a) a agricultura surgiu logo em seguida aos vegetais, perturbando desde então seu desenvolvimento.
- b) o ser humano só se tornou moderno ao dominar a agricultura e a indústria, em suma, ao poluir.
- c) desde o surgimento da Terra, são devidas ao ser humano todas as transformações e perturbações.

- d) o surgimento do ser humano e da poluição é cerca de dez vezes mais recente que o do nosso planeta.
- e) a industrialização tem sido um processo vertiginoso, sem precedentes em termos de dano ambiental.

9. (ENEM) O texto permite concluir que a agricultura começou a ser praticada há cerca de:

- a) 365 anos.
- b) 460 anos.
- c) 900 anos.
- d) 10 000 anos.
- e) 460 000 anos.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UnB-DF) Em uma população, um determinado gene apresenta-se em duas formas, a dominante e a recessiva, sendo 36% dos indivíduos recessivos. Considerando que tal população se encontre em equilíbrio genético, podendo-se, portanto, aplicar o Princípio de Hardy-Weinberg, calcule, **em porcentagem**, a frequência do referido gene na população. Despreze a parte fracionária de seu resultado, caso exista.

2. (UFRJ) A frequência gênica de dois alelos em uma população, numa dada geração, foi de $A = 80\%$ e $a = 20\%$. Na geração seguinte foi observada uma frequência de $A = 60\%$ e $a = 40\%$.

Alguns mecanismos evolutivos que alteram a frequência dos genes são:

- 1) seleção natural;
- 2) taxa de mutação gênica;
- 3) deriva ao acaso da frequência gênica, principalmente em populações pequenas.

Qual das três possibilidades apresentadas **não** pode ser aceita para explicar a variação na frequência dos genes citados? Justifique sua resposta.

3. (Fuvest-SP) Um determinado gene de herança autossômica recessiva causa a morte das pessoas homozigóticas **aa** ainda na infância. As pessoas heterozigóticas **Aa** são resistentes a uma doença infecciosa causada por um protozoário, a qual é letal para as pessoas homozigóticas **AA**.

Considere regiões geográficas em que a doença infecciosa é endêmica e regiões livres dessa infecção. Espera-se encontrar diferença na frequência de nascimento de crianças **aa** entre essas regiões? Por quê?

4. (Unicamp-SP) Uma amostra de uma população humana revela que 60 pessoas são do grupo sanguíneo **M**, 100 são do tipo **MN** e 40 indivíduos do grupo **N**. Considerando que se trata de uma espécie diplóide, qual o número de alelos do tipo **M** nessa amostra?

5. (UFV-MG) Por que se diz que a reprodução sexuada é mais vantajosa do que a assexuada para populações que habitam ambientes com mudanças climáticas constantes e severas?

6. (Fuvest-SP) É comum o cruzamento entre jumento e égua para se obter o híbrido conhecido como burro. Este, apesar de seu vigor físico, é estéril.

- a) Sabendo-se que o número diplóide de cromossomos do jumento é 62 e o da égua 64, quantos cromossomos devem estar presentes em cada célula somática do burro?
- b) Com base no conceito biológico de espécie, o jumento e a égua pertencem à mesma espécie? Por quê?

7. (UFMA) Dentre os primatas, algumas tendências evolutivas são citadas como as principais características adaptativas que levaram à formação da nossa espécie *Homo sapiens*. Cite 4 dessas tendências e comente as vantagens adaptativas das mesmas.

8. (UFRJ) O metilmercúrio é um poluente que surge da organificação do mercúrio que é jogado nos rios, em garimpos de ouro. O homem pode se intoxicar ao ingerir um peixe contaminado por esse poluente. Isso pode acarretar lesões no seu sistema nervoso. Caso surgisse um gene mutante na população humana, capaz de formar uma enzima eficiente na metabolização e conseqüente eliminação do metilmercúrio (como ocorre em certas bactérias), os indivíduos portadores dessa mutação estariam protegidos da intoxicação por esse poluente.

Explique como a seleção natural poderia agir sobre a frequência desse gene mutante nas seguintes situações:

- a) população humana, portadora do mutante, vivendo em ambiente não-poluído por mercúrio;
- b) população humana, portadora do mutante, vivendo em ambiente poluído por mercúrio.

UNIDADE 7

H. Lehmann/Stock Photo



Ecologia



Ecologia: introdução, fluxo de energia e ciclo da matéria

1. A Ecologia e sua importância

A palavra **ecologia** deriva de duas palavras gregas: *oikós* (casa) e *logos* (estudo). Assim, ecologia significa literalmente o “estudo da casa”.

A Ecologia é uma área da Biologia que se preocupa em estudar as relações entre os seres vivos e entre eles e o meio em que vivem. Essa área está em pleno desenvolvimento e se torna cada vez mais importante por causa da interferência humana sobre os ecossistemas. Essa interferência tem provocado desequilíbrios ecológicos, somente evitáveis na medida em

que conheçamos a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas e nos capacitemos a adotar procedimentos racionais de utilização dos recursos naturais.

A preocupação com a preservação de nosso planeta não é só de agora e tem sido motivo de reuniões mundiais para se tentar propor medidas em termos globais.

O texto a seguir, adaptado de um importante livro escrito em 1973, resume um pouco dessas preocupações, válidas até hoje.

A caminho de uma reconciliação entre o ser humano e a natureza

Os grandes problemas da conservação da natureza estão, na realidade, intimamente ligados aos da sobrevivência do próprio ser humano na Terra.

Certos filósofos não hesitam em afirmar que a humanidade está mal encaminhada. Não nos cabe aqui fazer semelhantes considerações ou julgamentos, porém podemos afirmar, de acordo com todos os biólogos, que o ser humano cometeu um erro capital pensando poder isolar-se da natureza e não respeitar certas leis de alcance geral. Existe, já há muito, um divórcio entre o ser humano e seu meio.

O velho pacto que unia o primitivo e seu hábitat foi rompido de modo unilateral pelo ser humano, logo que este considerou ser suficientemente forte para seguir apenas as leis elaboradas por si mesmo. Devemos reconsiderar essa posição, mesmo que nosso orgulho sofra, e assinar um novo pacto com a natureza, que nos permita viver em harmonia com ela. É a melhor maneira de extrair do meio um rendimento que possibilite ao ser humano manter-se sobre a Terra e fazer com que sua civilização progrida tanto no plano técnico quanto no plano espiritual.

Só essa harmonia tornará possível salvar, simultaneamente, o ser humano e a natureza selvagem, dois aspectos, dois lados de um mesmo problema que durante muito tempo se pensou poder dissociar; no entanto, constata-se atualmente que estão intimamente ligados, e não é mais possível separá-los. A natureza não deve ser salva para rechaçar o ser humano, mas sim porque a salvação dela constitui a única probabilidade de sobrevivência material para a humanidade, devido à unidade fundamental do mundo onde vivemos.

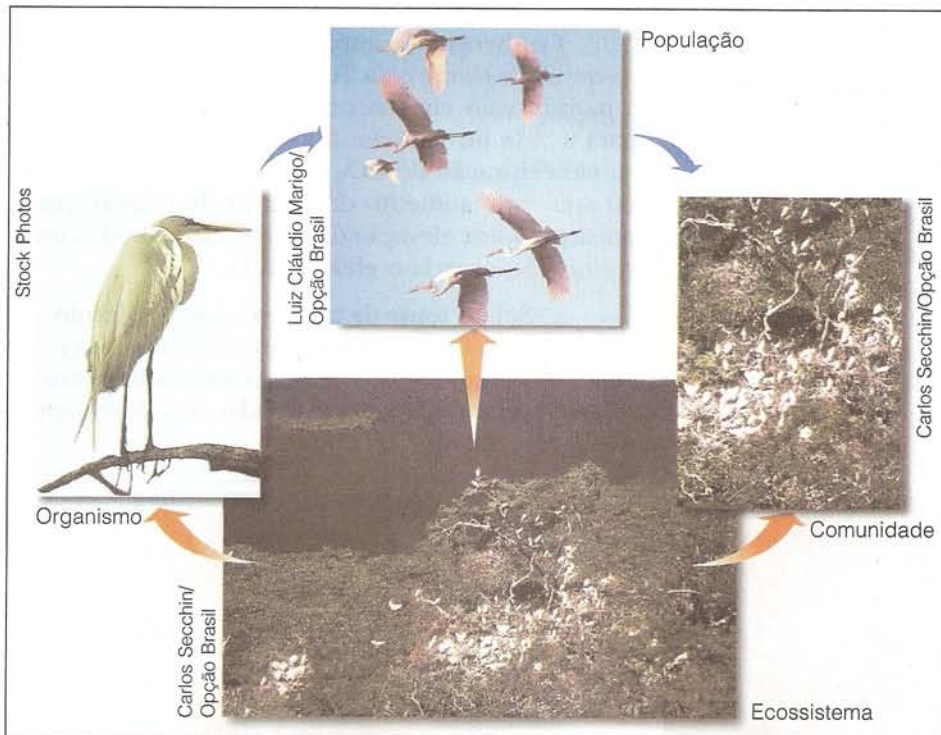
Adaptado de: Jean Dorst, *Antes que a natureza morra*, São Paulo: Edusp, 1973.

2. Os componentes estruturais de um ecossistema

Os ecossistemas apresentam dois componentes estruturais básicos e intimamente inter-relacionados:

- **componentes abióticos:** podem ser **físicos** (como a radiação solar, a temperatura, a luz, a umidade, os ventos), **químicos** (como os nutrientes presentes nas águas e nos solos) ou **geológicos** (como o solo);
- **componentes bióticos:** são os seres vivos.

Em um ecossistema existem várias populações de diferentes espécies de seres vivos, e o conjunto dessas populações compõe uma **comunidade** ou **biocenose** ou, ainda, **biota**.



Montagem com fotografias para ilustrar os níveis de organização dos seres vivos, desde organismo até ecossistema.

2.1. Os componentes abióticos

A **radiação solar** é um dos principais fatores físicos dos ecossistemas, pois é por meio dela que os seres clorofilados realizam fotossíntese. Nesse processo, liberam oxigênio para a atmosfera e transformam a energia luminosa em energia química, única forma de energia que pode ser aproveitada pelos demais seres vivos. Além disso, a radiação solar, interagindo com a atmosfera e a superfície terrestre, interfere em outros fatores físicos, como temperatura, umidade e pluviosidade de uma região.

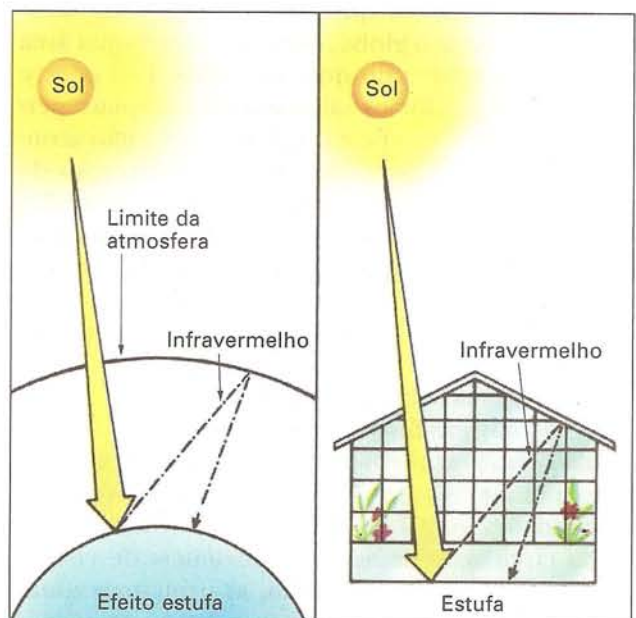
A **atmosfera** é fundamental para a biosfera, pois, além de conter gases essenciais para a vida, impede que a Terra perca calor, atuando como um "cobertor" ou uma estufa. É por isso que se fala em efeito de cobertura ou efeito estufa da atmosfera.

Os principais componentes da atmosfera que contribuem para o efeito estufa são o gás carbônico e o vapor d'água, sendo também relevantes a ação do metano (CH_4) e do dióxido de enxofre (SO_2). Este é um gás tóxico liberado da combustão do carvão mineral e do *diesel*.

A atmosfera é transparente à energia radiante, mas não é transparente à energia térmica irradiada pela Terra. Fenômeno semelhante ocorre em uma estufa: o vidro da estufa é transparente à energia luminosa do Sol, que é absorvida pelas plantas e

pelo solo, e reirradiada como energia térmica, com comprimentos de onda correspondentes ao infravermelho. Como esses raios não atravessam o vidro, há retenção de calor dentro da estufa.

De modo semelhante ao vidro da estufa, a atmosfera impede que o calor se dissipe, evitando o resfriamento da Terra.



Esquemas comparando o efeito da atmosfera em reter calor com o que ocorre em uma estufa. (Elementos representados fora de proporção; cores-fantasia.)

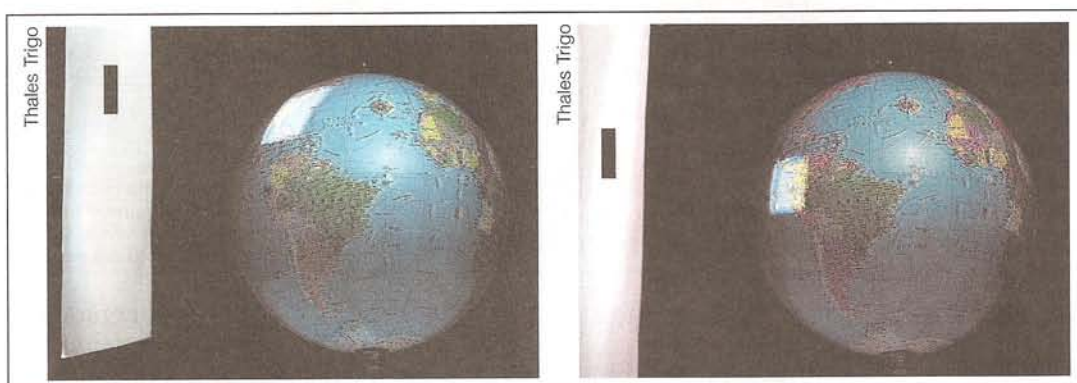
O aquecimento da atmosfera ocorre principalmente por ação do infravermelho reirradiado pela superfície da Terra em direção às camadas mais altas. O ar aquecido sobe e, ao entrar em contato com o ar superior mais frio, ocorre condensação do vapor de água contido no ar aquecido e há liberação de calor, contribuindo para o aquecimento da atmosfera. O ar resfriado desce e sofre novo aquecimento, iniciando-se novamente o ciclo.

Em regiões secas, como ocorre pouca evaporação durante o dia, a umidade do ar é reduzida. Nos desertos, durante o dia as temperaturas são elevadas em função do aquecimento do solo, que irradia energia térmica. Já durante a noite ocorre o rápido resfriamento, verificando-se grandes quedas de temperatura. Isso acontece por haver pouco vapor d'água na região, o qual auxiliaria no equilíbrio tér-

mico ao se condensar. Assim, existe maior facilidade de perda de calor à noite nos desertos do que em quaisquer outras regiões.

Conhecendo a importância da atmosfera para o equilíbrio térmico da Terra, é possível supor o que a modificação em sua composição pode acarretar para a vida no planeta. Acredita-se que a elevação da concentração de CO_2 na atmosfera, decorrente do crescente aumento da queima de combustíveis, possa provocar elevação da temperatura média, uma vez que acentuaria o efeito estufa.

O Sol é a fonte de calor e de energia luminosa para a Terra. Os raios solares, no entanto, não atingem a Terra em todos os pontos com a mesma intensidade, como pode ser observado no experimento da figura a seguir.



Pegando um globo terrestre e uma fonte luminosa qualquer, como uma lanterna, e interpondo entre ambos uma cartolina com um quadrado recortado, verifica-se que uma mesma quantidade de luz, ao atingir o globo, distribui-se por uma área menor no equador do que nos pólos. Isso ocorre porque no equador os raios solares são quase perpendiculares à superfície do globo, o que não acontece nos pólos. Havendo maior concentração de energia luminosa no equador, haverá também maior aquecimento nessa região. Então, estabelece-se um gradiente térmico em função da latitude, verificando-se temperaturas mais altas no equador e mais baixas nos pólos. No entanto, como o eixo da Terra é inclinado, nem sempre é o equador que recebe os raios solares perpendicularmente.

Os movimentos de rotação e de circunvolução da Terra permitem que a quantidade de energia solar que a atinge varie. Isso determina os principais padrões gerais de distribuição da temperatura, da circulação de ar e da incidência de chuvas no planeta. Determina, enfim, as principais zonas climáticas: a polar, a temperada e a tropical. Estas, por sua vez, estabelecem os grandes padrões de vida na Terra.

2.2. Os componentes bióticos

Os componentes bióticos podem ser divididos em dois grupos:

- **organismos autótrofos:** representados pelos seres fotossintetizantes e quimiossintetizantes, considerados os **produtores** dos ecossistemas;
- **organismos heterótrofos:** representados pelos **consumidores** e pelos **decompositores**.

Os consumidores são organismos que se alimentam de outros organismos, como fazem todos os animais. Os que se alimentam de produtores são chamados **consumidores primários**, como é o caso dos herbívoros, cujo alimento são as plantas. Aqueles que se alimentam de herbívoros são denominados **consumidores secundários**; os que se alimentam de consumidores secundários são os **consumidores terciários**, e assim por diante.

Os decompositores degradam a matéria orgânica contida nos produtores e nos consumidores, utilizando alguns produtos da decomposição como alimento e liberando para o meio ambiente minerais e outras substâncias, que podem ser novamente utilizados pelos produtores. Os decompositores estão representados pelas bactérias e pelos fungos.

3. Cadeia e rede alimentar

A sequência de seres vivos em que um serve de alimento para o outro é chamada **cadeia alimentar**. Num ecossistema existem várias cadeias alimentares, formando uma complexa relação de transferência de matéria e de energia, denominada **rede alimentar** ou **teia alimentar**.

Para exemplificar, vamos usar um curioso exemplo descrito por pesquisadores brasileiros para a região de Bonito (MS).

Bonito (MS)

Pesquisadores brasileiros que estudam a nascente de águas cristalinas de Baía Bonita, na região de Bonito (MS), registraram uma curiosa rede alimentar que envolve plantas terrestres, macacos, peixes, insetos e serpentes.

Fotografia da nascente de águas cristalinas da Baía Bonita (MS).



Luciano Candisani

Esses pesquisadores verificaram que peixes conhecidos por piraputangas (*Brycon microlepis*) concentram-se em regiões dessa nascente onde grupos de macacos-prego (*Cebus apella*) se alimentam de frutos das árvores existentes ao redor da água. Foi possível comprovar que, ao se alimentarem, esses macacos deixam cair na água galhos quebrados e frutos, atraindo rapidamente as piraputangas, que se alimentam desses frutos.

Fotografia de macaco-prego alimentando-se em árvore.



Luciano Candisani

À medida que o grupo de macacos pula de galho em galho para outras árvores, o cardume de peixes acompanha o deslocamento deles em busca dos frutos que caem na água.

As piraputangas vivem em cardumes, são diurnas e orientam-se principalmente pela visão. São oportunistas, alimentando-se de sementes e frutos das árvores existentes ao redor do curso da água ou de insetos que caem nela.

Concentradas na obtenção de alimento e em seguir o grupo de macacos, as piraputangas tornam-se alvo mais fácil de predadores, como os dourados.

Fotografia de dourado (cerca de 1 m de comprimento), um dos predadores da piraputanga.



Luciano Candisani

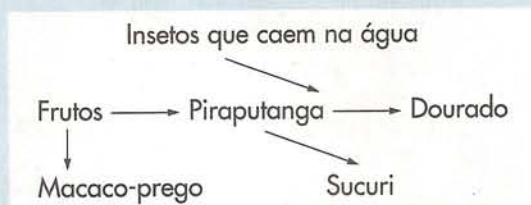
Uma das piraputangas, que havia sido mordida por um dourado mas conseguira escapar nadando com dificuldade, foi capturada por uma sucuri, que entrou na água e se enrolou no corpo do peixe, como normalmente faz para capturar suas vítimas, matando-as por estrangulamento. Esse foi o primeiro registro da predação de um peixe por uma serpente.

Fotografia de sucuri capturando uma piraputanga dentro da água.



Luciano Candisani

Desse modo, uma curiosa rede alimentar se estabelece:



Adaptado de: José Sabino & Ivan Sazima, *Ichthyology Explor. Freshwater*, 1999, vol. 10, nº 4, e artigo de Luciano Candisani, *National Geographic Brasil*, out. 2001.

4. Os níveis tróficos

O conjunto de todos os organismos de um ecossistema com o mesmo tipo de nutrição constitui um **nível trófico** ou **alimentar**.

Os produtores ocupam o **primeiro nível trófico**; os animais herbívoros, que são consumidores primários, formam o **segundo nível trófico**; os animais carnívoros que se alimentam de herbívoros (consumidores secundários) formam o **terceiro nível trófico**; os animais carnívoros que se alimentam de animais carnívoros (consumidores terciários) formam o **quarto nível trófico**; e assim por diante.

Um organismo pode ocupar mais de um nível trófico, como acontece, por exemplo, com os animais **onívoros** (*omnis* = tudo): eles se alimentam de plantas, de herbívoros e de carnívoros, podendo

participar de diversas cadeias alimentares e, assim, ocupar diferentes níveis tróficos.

Os decompositores formam um grupo especial, nutrindo-se de elementos mortos provenientes de diferentes níveis tróficos, degradando tanto produtores como consumidores.

Componentes estruturais bióticos dos ecossistemas		Nível trófico
Autótrofo — Produtor		1º
Heterótrofo	Consumidor	primário
		2º
		sedundário
		3º
	Decompositor	terciário
		4º
	Decompositor	quaternário
		5º

5. Hábitat e nicho ecológico

O lugar que um organismo ocupa no ecossistema é o seu **hábitat**, e a descrição de seu modo de vida constitui o seu **nicho ecológico**.

Assim, em um ecossistema representado por uma lagoa, o hábitat de uma alga microscópica é a água superficial. Seu nicho ecológico pode ser assim resumido: as algas necessitam de luz, de nutrientes minerais, de temperatura adequada, realizam fotossíntese, reproduzem-se, servem de alimento para alguns animais.

6. Fluxo de energia e ciclo da matéria

Todos os seres vivos necessitam de matéria-prima e de energia para a realização de suas atividades vitais. Essas necessidades são supridas pelos alimentos orgânicos.

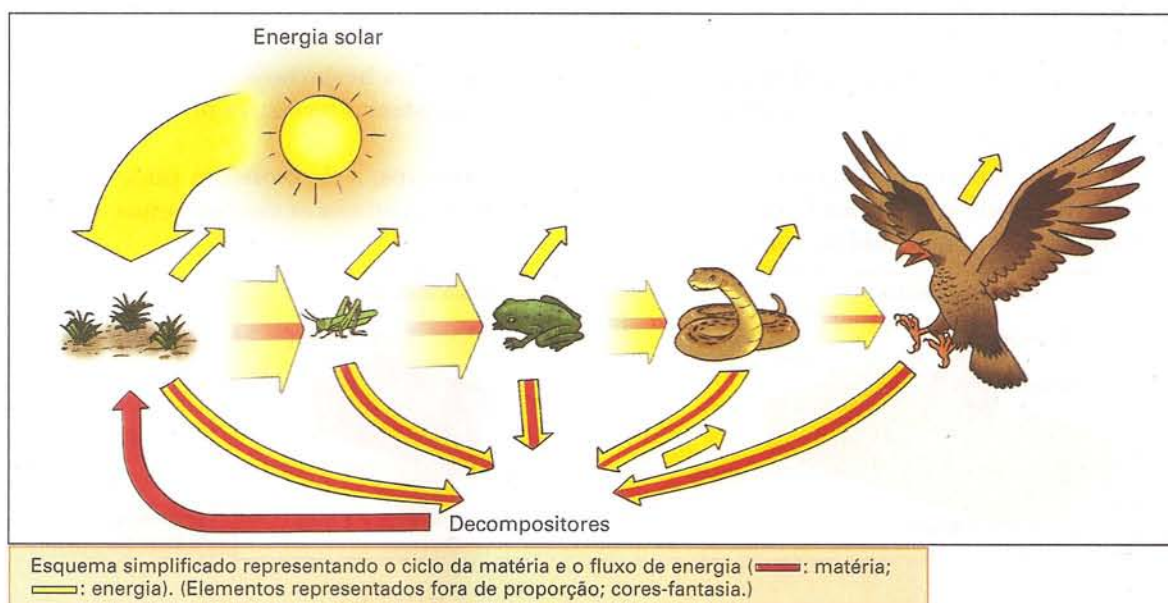
Os organismos produtores (autótrofos) sintetizam seu próprio alimento orgânico a partir de matéria não-orgânica, e esse alimento é utilizado por eles e pelos consumidores (heterótrofos), que não são capazes de executar essa função.

Os principais produtores são os organismos fotossintetizantes. A energia luminosa do Sol é transformada em energia química pelos produtores e é transmitida aos demais seres vivos. Essa energia, no entanto, diminui à medida que passa de um consu-

midor para outro, pois parte dela é liberada sob a forma de calor e parte é utilizada na realização dos processos vitais do organismo.

Assim, sempre restará uma parcela menor de energia disponível para o nível seguinte. Como na transferência de energia entre os seres vivos não há reaproveitamento da energia liberada, diz-se que essa transferência é **unidirecional** e ocorre como um **fluxo de energia**.

A matéria, no entanto, pode ser reciclada, falando-se em **ciclo da matéria** ou **ciclo biogeoquímico**. Os decompositores são fundamentais nesse ciclo, pois eles decompõem organismos mortos de todos os níveis tróficos, devolvendo ao ciclo elementos fundamentais.



6.1. Pirâmides ecológicas

As transferências de matéria e de energia nos ecossistemas são frequentemente representadas de modo gráfico, mostrando as relações entre os diferentes níveis tróficos em termos de quantidade. Como ocorre redução de matéria e de energia em cada nível trófico, as representações adquirem o formato de pirâmides.

As pirâmides ecológicas podem ser de **número**, de **biomassa** ou de **energia**. Nelas cada nível trófico é representado por um retângulo, cujo comprimento é proporcional à quantidade do que está sendo representado: número, biomassa ou energia. A altura desses retângulos é sempre a mesma.

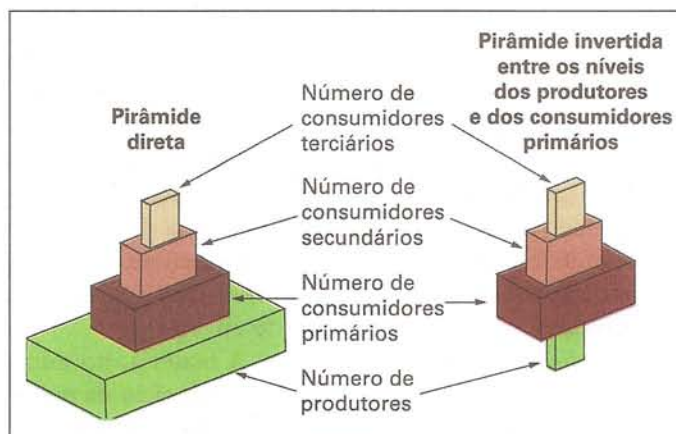
Pirâmide de números

Indica o número de indivíduos em cada nível trófico. Por exemplo: em um campo, 5 mil plantas são necessárias para alimentar 300 gafanhotos, que servirão de alimento a apenas uma ave.

Nesse exemplo, a pirâmide tem a base mais larga, pois é necessário grande número de produtores para alimentar uns poucos herbívoros, que, por sua vez, servirão de alimento para um número ainda menor de carnívoros. Esta é a **pirâmide direta**.

Existem casos, no entanto, em que o produtor tem grande porte, como ocorre com uma árvore que sustenta grande número de herbívoros. Nesse caso, o gráfico de números, apesar de não ter o

formato de pirâmide, pois a base é estreita, é chamado de **pirâmide invertida**.



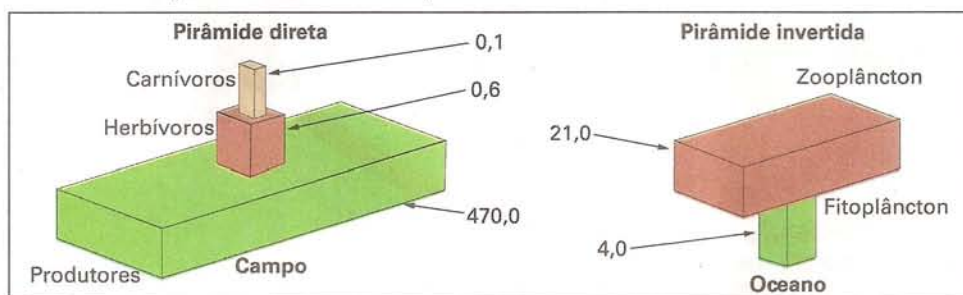
Esquemas de pirâmides de números.

Pirâmide de biomassa

A **biomassa** é expressa em termos de quantidade de matéria orgânica por unidade de área em dado momento.

De modo geral, a biomassa dos produtores é maior que a dos herbívoros, que é maior que a dos carnívoros. Nesses casos, a pirâmide é direta. Isso ocorre nos ecossistemas terrestres nos quais, em geral, os produtores têm grande porte.

Do mesmo modo como acontece com a pirâmide de números, a de biomassa pode se apresentar invertida, o que pode ser verificado em oceanos e lagos, onde os produtores são pequenos e rapidamente consumidos pelos consumidores primários.



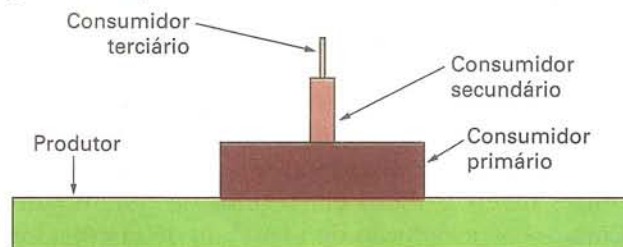
Esquemas de pirâmides de biomassa (g/m²).

Pirâmide de energia

A pirâmide de energia é construída levando-se em consideração a biomassa acumulada por unidade de área (ou volume), por unidade de tempo em cada nível trófico. Por considerar o fator tempo, a **pirâmide de energia nunca é invertida**.

Apesar de as pirâmides de energia representarem satisfatoriamente o fluxo de energia nos ecossistemas, elas possuem um inconveniente básico comum às outras pirâmides ecológicas: não mos-

tram o nível dos decompositores, que compõem uma parcela importante dos ecossistemas.



Esquema de pirâmide de energia. Esse tipo de pirâmide nunca é invertido, qualquer que seja o ecossistema analisado.

6.2. Os ciclos biogeoquímicos

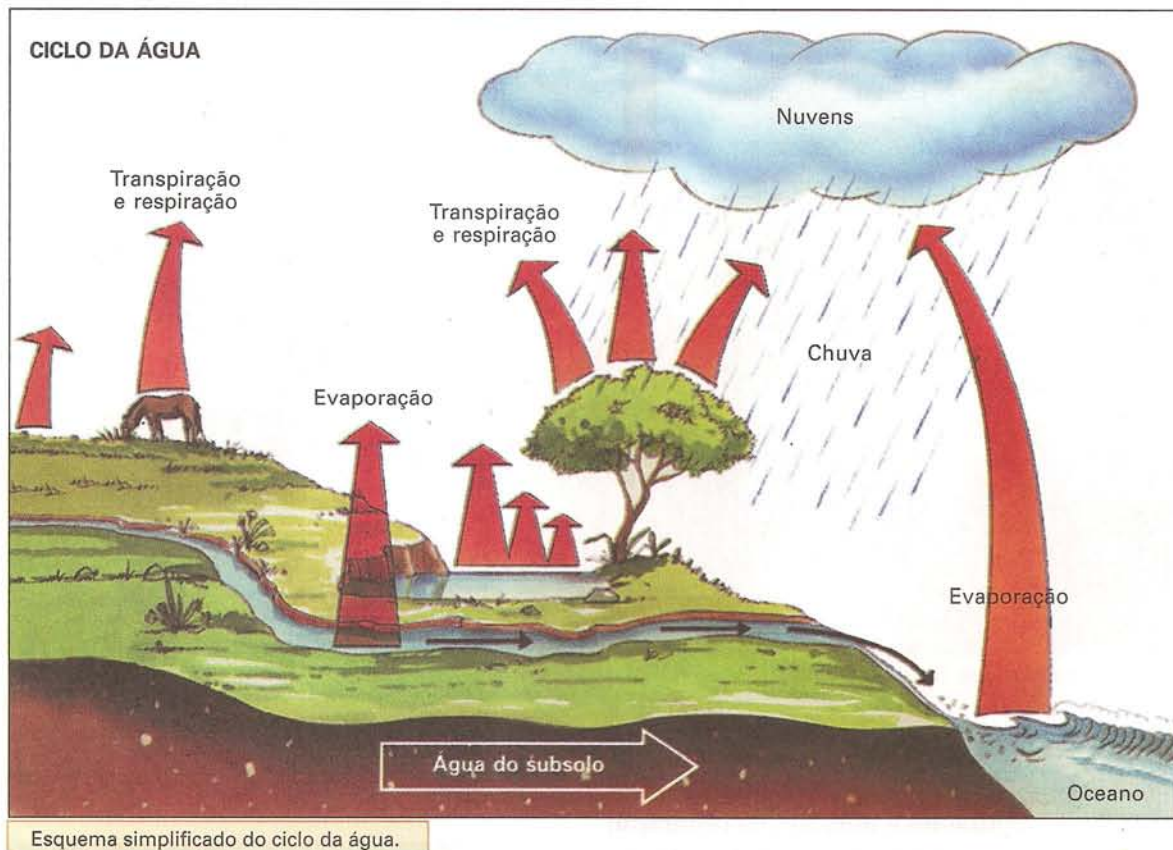
A **Biogeoquímica** é uma ciência que estuda a troca de materiais entre os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas.

Os seres vivos mantêm constante troca de matéria com o ambiente. Os elementos químicos são retirados do ambiente, utilizados pelos organismos e novamente devolvidos ao ambiente, num processo que constitui os **ciclos biogeoquímicos**.

Vamos analisar aqui os ciclos dos quatro elementos químicos que entram na composição da matéria orgânica: **carbono**, **hidrogênio**, **oxigênio** e **nitrogênio**. As trocas de hidrogênio entre seres vivos e ambiente serão estudadas no ciclo da água. Discutiremos então quatro ciclos biogeoquímicos: o da água, o do carbono, o do oxigênio e o do nitrogênio.

Ciclo da água

O ciclo da água na natureza está representado de modo simplificado na figura a seguir:



A água está em constante mudança de estado físico e há permanente troca dessa substância entre rios, lagos, mares, solos, atmosfera e seres vivos.

A água presente sob forma líquida na superfície da Terra sofre evaporação e passa para a atmosfera. Com o resfriamento nas camadas mais altas da atmosfera, os vapores de água condensam-se, formam nuvens e depois voltam à superfície terrestre sob a forma de chuva. Havendo resfriamento excessivo, ainda na atmosfera os vapores de água podem sofrer condensação e em seguida solidificação, dando origem à neve ou ao gelo, que podem cair na superfície terrestre constituindo a nevada e o granizo, respectivamente.

Os seres vivos absorvem ou ingerem água, pois ela é fundamental para sua sobrevivência. Parte dessa água presente no corpo dos seres vivos retorna ao meio ambiente pela respiração, pela excreção e principalmente pela transpiração.

A água participa de vários processos dentro do corpo dos seres vivos, seja como solvente ou como reagente ou produto de reações químicas. Como

reagente, a água participa, por exemplo, da fotossíntese, e seus átomos de hidrogênio serão incorporados à matéria orgânica que fica disponível para os produtores e, por meio da cadeia alimentar, para os consumidores e decompositores. Pela respiração, parte da água retorna ao meio ambiente.

As plantas liberam parte da água que absorvem, principalmente pela transpiração, processo importante não só para resfriar o corpo da planta, como também para a condução da seiva bruta até as folhas.

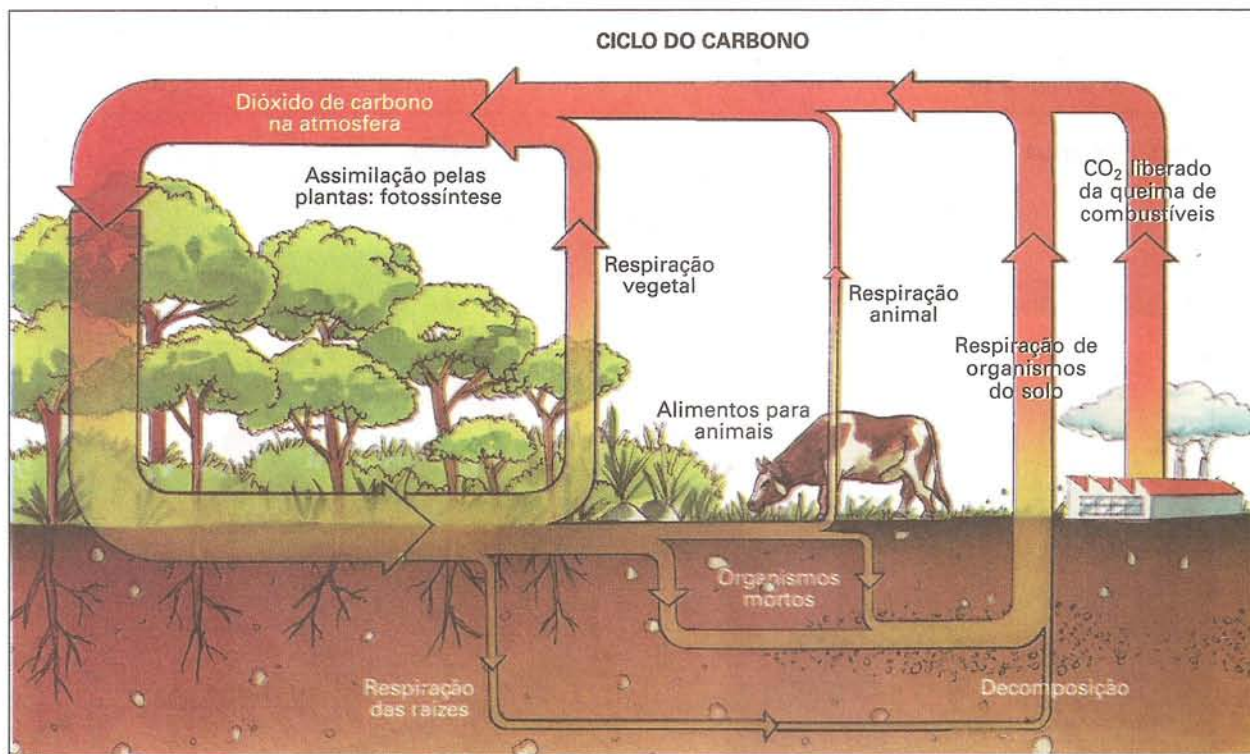
Os animais liberam, por meio da transpiração, da excreção e das fezes, parte da água que absorvem ou ingerem.

Ciclo do carbono

O ciclo do carbono consiste na fixação desse elemento pelos seres autótrofos por meio da fotossíntese ou da quimiossíntese, processos que incorporam o carbono das moléculas de CO_2 do meio a moléculas orgânicas que ficam disponíveis para os produtores e, através da cadeia alimentar, para os

consumidores e decompositores. Por meio da respiração ou da fermentação, o CO_2 retorna para o meio ambiente. O gás carbônico também é liberado para a atmosfera na queima de combustíveis fósseis, representados pelo carvão mineral, petróleo e óleo *diesel*.

O ciclo do carbono está esquematizado na figura a seguir:



Esquema simplificado do ciclo do carbono.

Ciclo do oxigênio

O oxigênio (O_2) é um gás liberado pelos organismos fotossintetizantes e utilizado na respiração celular, processo que resulta na produção de gás carbônico.

É interessante notar que o oxigênio é uma substância que não só garante a vida na Terra, como também se origina da atividade vital. Praticamente todo o oxigênio livre na atmosfera e na hidrosfera tem origem biológica, no processo de fotossíntese.

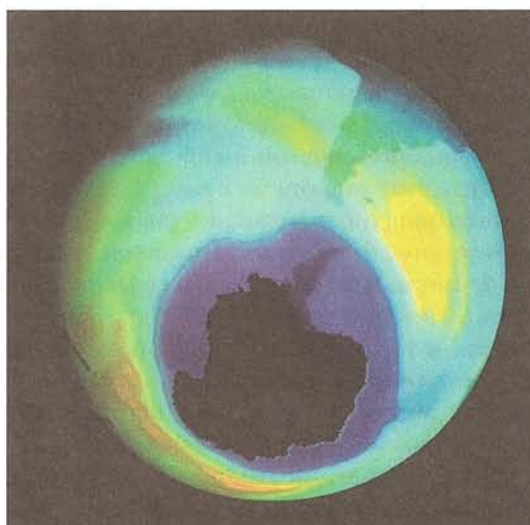
O O_2 produzido pode participar também da formação da camada de **ozônio** (O_3), cuja presença na atmosfera é de extrema importância para os seres vivos, pois atua como filtro da radiação ultravioleta, nociva quando em excesso.

A nocividade dessa radiação está relacionada a doenças como o câncer de pele e a alterações genéticas, por induzirem mutações.

A camada de ozônio vem sendo progressivamente destruída, principalmente pela ação de gases conhecidos por **clorofluorcarbonos**, também denominados CFCs, usados em *sprays* (aerossóis), condicionadores de ar, geladeiras, espumas plásticas, componentes eletrônicos e outros produtos.

Existem cálculos que estimam em 75 anos a

vida útil dos CFCs e em cerca de 100 mil o número de moléculas de ozônio que podem ser destruídas por um único átomo de cloro.



Nasa/Science Photo Library

Fotografia de satélite colorida artificialmente, tirada em 17 de setembro de 2001, mostrando o buraco na camada de ozônio na região Antártida (parte inferior da foto onde o azul é mais escuro). Os níveis de ozônio estão codificados por cores, que vão desde azul-escuro, que indica concentração mais baixa, até amarelo, que indica concentração mais alta.

Em função do comportamento das massas de ar na atmosfera, houve maior concentração desses gases em certas regiões, causando maior destruição da camada de ozônio nesses lugares. A maior delas fica sobre a Antártida, onde a camada de ozônio tornou-se menos espessa, formando o que ficou conhecido por “buraco de ozônio”.

Com a crescente redução da emissão dos CFCs, espera-se que até o final da década de 2040 esse “buraco” já esteja bem menor.

Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio (N_2) é um gás presente na atmosfera na proporção aproximada de 79%. Apesar

disso, não é utilizado de forma direta pelos seres vivos, com exceção de alguns microrganismos.

O aproveitamento do nitrogênio pela generalidade dos seres vivos depende de sua fixação, que pode ser feita por **radiação** ou por **biofixação**, sendo este último processo o mais importante.

A biofixação é realizada principalmente por bactérias e cianobactérias, que podem viver livres no solo ou associadas a plantas. Esses organismos transformam o N_2 atmosférico em **amônia** (NH_3).

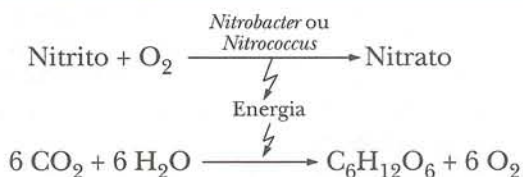
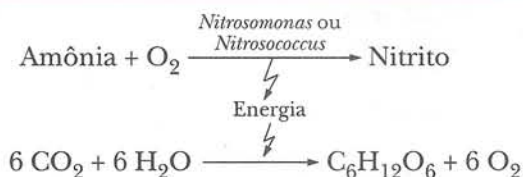
Os biofixadores que vivem associados a plantas acomodam-se geralmente em nódulos nas raízes.

Cedoc



Fotografia de nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio em raízes de leguminosas (bacteriorrizas).

A amônia produzida pelos biofixadores associados às raízes é transferida diretamente para a planta, que a utiliza na síntese de aminoácidos e nucleotídeos. Já a amônia produzida pelos biofixadores de vida livre é transformada em nitrito e depois em nitrato, pela ação das **bactérias nitrificantes** dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Essas bactérias são autótrofas quimiossintetizantes, que utilizam a energia da nitrificação para a síntese de suas substâncias orgânicas.



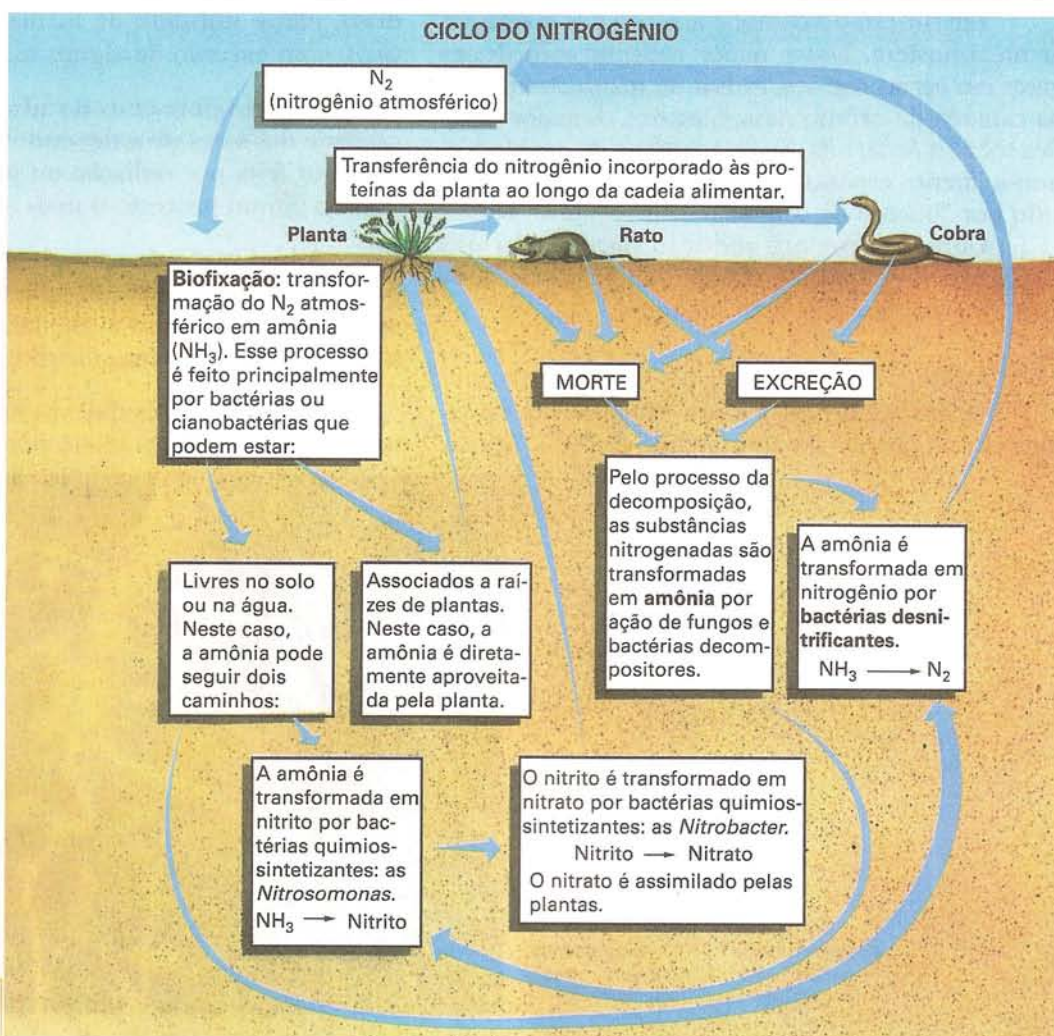
O nitrato liberado no meio pode ser absorvido diretamente pelas plantas, e o nitrogênio nele contido é utilizado na síntese de aminoácidos e nucleotídeos.

Os animais obtêm o nitrogênio de que necessitam por meio da alimentação.

O nitrogênio retorna ao ambiente pela excreção e, quando os organismos morrem, pelo processo de decomposição.

As excretas nitrogenadas uréia e ácido úrico são transformadas em amônia por bactérias e fungos decompositores. Esses organismos também degradam as substâncias nitrogenadas contidas no corpo de organismos mortos, transformando-as em amônia.

A amônia pode retornar ao ciclo sendo transformada em nitrito e nitrato pelas bactérias **nitrificantes** ou em nitrogênio (N_2) por bactérias **desnitrificantes**. O N_2 volta para a atmosfera, podendo entrar novamente na fase biológica do ciclo por meio dos processos de fixação.



Adubação verde e adubação química

Visando melhorar a produção de suas lavouras, os agricultores têm utilizado duas formas básicas de adubação para aumentar no solo a taxa de nitrogênio assimilável pelas plantas: a adubação verde e a química.

Na adubação verde plantam-se leguminosas, pois elas contêm em suas raízes as bactérias fixadoras de nitrogênio. Com isso, aumenta o teor de nitrogênio no solo, constituindo uma forma natural de adubação. O plantio de leguminosas pode ser feito basicamente de duas maneiras:

- em períodos alternados com outras culturas de plantas não-leguminosas, como o milho, o que é chamado **rotação de culturas**;
- concomitantemente, realizando plantação de leguminosas juntamente com plantas não-leguminosas, o que recebe o nome de **plantação consorciada**.

Na adubação química, adicionam-se aos solos adubos sintéticos que contêm nitrogênio fixado por meios industriais e transformado em nitrato. Nos adubos químicos, além de nitratos, geralmente estão presentes outros produtos, como o fósforo.

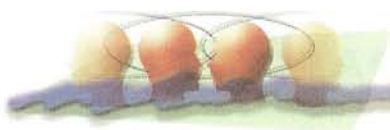
Com a adubação verde e especialmente a química, o ser humano está interferindo de modo significativo no ciclo do nitrogênio, aumentando a taxa de aproveitamento desse elemento pelos seres vivos.

Entretanto, o uso de fertilizantes químicos ricos em nitrato precisa ser feito com critério, pois aplicados em excesso esses fertilizantes são transportados pelas chuvas, atingindo rios, mares e o lençol freático que alimenta muitos poços construídos para abastecimento de água. Alguns tipos de verdura, quando cultivados em solos com excesso de nitrato, absorvem e concentram essa substância. A ingestão de água ou de verduras com excesso de nitrato ou de nitrito pode causar uma doença chamada **metaemoglobinemia**, uma forma grave de anemia, decorrente da união do nitrogênio com a hemoglobina.



-
- Águia
- Pássaro
- Grilo
- Cobra
- Sapo
- Gramínea
- Ave pernalta
- Peixe grande
- Pato
- Peixes pequenos
- Caramujo herbívoro
- Algas
- Fitoplâncton
- Zooplâncton
- Bactérias decompositoras

- a) os organismos de vida livre ou associados a outros organismos responsáveis pela biofixação;
- b) a substância resultante da biofixação;
- c) as substâncias produzidas pela ação das bactérias quimiossintetizantes;
- d) a utilização, por vegetais e animais, dos compostos nitrogenados;
- e) o caminho pelo qual o nitrogênio dos restos nitrogenados retorna ao ciclo;
- f) a ação das bactérias desnitrificantes.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

A carta do chefe indígena

A importância de se compreender a interação organismo/meio fica mais clara para o ser humano quando ele vive em contato com a natureza, longe dos grandes centros onde a tecnologia predomina. Para exemplificar isso, vamos reproduzir uma carta escrita por um chefe indígena da América do Norte que foi enviada em 1854 ao então presidente dos Estados Unidos, Franklin Pierce. Na ocasião, o presidente havia proposto ao índio a compra de suas terras, dando-lhe em troca uma reserva. A carta do chefe indígena tem sido amplamente divulgada pela Organização das Nações Unidas como um dos mais belos exemplos de consciência ecológica. Ela nos alerta para problemas ecológicos atuais decorrentes do despreparo do ser humano para compreender as leis da natureza. Apesar de escrita em 1854, seus ensinamentos são válidos até hoje.

Vamos analisar a referida carta, que reproduzimos a seguir.

“Como é que se pode comprar ou vender o céu, o calor da terra? Essa idéia nos parece estranha.

Se não possuímos o frescor do ar e o brilho da água, como é possível comprá-los?

Cada pedaço desta terra é sagrado para meu povo. Cada ramo brilhante de um pinheiro, cada punhado de areia das praias, a penumbra na floresta densa, cada clareira e inseto a zumbir são sagrados na memória e experiência de meu povo. A seiva que percorre o corpo das árvores carrega consigo as lembranças do homem vermelho.

Os mortos do homem branco esquecem sua terra de origem quando vão caminhar entre as estrelas. Nossos mortos jamais esquecem esta bela terra, pois ela é a mãe do homem vermelho. Somos parte da terra e ela faz parte de nós. As flores perfumadas são nossas irmãs; o cervo, o cavalo, a grande águia são nossos irmãos. Os picos rochosos, os sulcos úmidos nas campinas, o calor do corpo do potro e o homem — todos pertencem à mesma família.

Portanto, quando o grande chefe em Washington manda dizer que deseja comprar nossa terra, pede muito de nós. O grande chefe diz que nos reservará

um lugar onde possamos viver satisfeitos. Ele será nosso pai, e nós seremos seus filhos. Portanto, nós vamos considerar sua oferta de comprar nossa terra. Mas isso não será fácil. Esta terra é sagrada para nós.

Essa água brilhante que escorre nos riachos e rios não é apenas água, mas o sangue de nossos antepassados. Se lhes vendermos a terra, vocês devem lembrar-se de que ela é sagrada, e devem ensinar às suas crianças que ela é sagrada e que cada reflexo nas águas límpidas dos lagos fala de acontecimentos e lembranças da vida do meu povo. O murmúrio das águas é a voz de meus ancestrais.

Os rios são nossos irmãos, saciam nossa sede. Os rios carregam nossas canoas e alimentam nossas crianças. Se lhes vendermos nossa terra, vocês devem lembrar e ensinar a seus filhos que os rios são nossos irmãos, e seus também. E, portanto, vocês devem dar aos rios a bondade que dedicariam a qualquer irmão.

Sabemos que o homem branco não compreende nossos costumes. Uma porção da terra, para ele, tem o mesmo significado que qualquer outra, pois é um forasteiro que vem à noite e extrai da terra aquilo de que necessita. A terra não é sua irmã, mas sua inimiga, e quando ele a conquista, prossegue seu caminho. Deixa para trás os túmulos de seus antepassados e não se incomoda. Rapta da terra aquilo que seria de seus filhos e não se importa. A sepultura de seu pai e os direitos de seus filhos são esquecidos. Trata sua mãe, a terra, e seu irmão, o céu, como coisas que possam ser compradas, saqueadas, vendidas como carneiros ou enfeites coloridos. Seu apetite devorará a terra, deixando somente um deserto.

Eu não sei, nossos costumes são diferentes dos seus. A visão de suas cidades fere os olhos do homem vermelho. Talvez seja porque o homem vermelho é um selvagem e não compreenda.

Não há um lugar quieto nas cidades do homem branco. Nenhum lugar onde se possa ouvir o desabrochar de flores na primavera ou o bater das asas de um inseto. Mas talvez seja porque eu sou um selvagem e não compreenda. O ruído parece somente insultar os ouvidos. E o que resta da vida se um homem não pode ouvir o choro solitário de uma ave ou o

debate dos sapos ao redor de uma lagoa à noite? Eu sou um homem vermelho e não compreendo. O índio prefere o suave murmúrio do vento encrespando a face do lago, e o próprio vento, limpo por uma chuva diurna ou perfumado pelos pinheiros.

O ar é precioso para o homem vermelho, pois todas as coisas compartilham o mesmo sopro — o animal, a árvore, o homem, todos compartilham o mesmo sopro. Parece que o homem branco não sente o ar que respira. Como um homem agonizante há vários dias, é insensível ao mau cheiro. Mas se vendermos nossa terra ao homem branco, ele deve lembrar que o ar é precioso para nós, que o ar compartilha seu espírito com toda a vida que mantém. O vento que deu a nosso avô seu primeiro inspirar também recebe seu último suspiro. Se lhes vendermos nossa terra, vocês devem mantê-la intacta e sagrada, como um lugar onde até mesmo o homem branco possa ir saborear o vento açucarado pelas flores dos prados.

Portanto, vamos meditar sobre sua oferta de comprar nossa terra. Se decidirmos aceitar, imporei uma condição: o homem branco deve tratar os animais desta terra como seus irmãos.

Sou um selvagem e não compreendo qualquer outra forma de agir. Vi um milhar de búfalos apodrecendo na planície, abandonados pelo homem branco que os alvejou de um trem ao passar. Eu sou um selvagem e não compreendo como é que o fumegante cavalo de ferro pode ser mais importante do que o búfalo, que sacrificamos somente para permanecer vivos.

O que é o homem sem os animais? Se todos os animais se fossem, o homem morreria de uma grande solidão de espírito. Pois o que ocorre com os animais, breve acontece com o homem. Há uma ligação em tudo.

Vocês devem ensinar às suas crianças que o solo a seus pés é a cinza de nossos avós. Para que respeitem a terra, digam a seus filhos que ela foi enriquecida com as vidas de nosso povo. Ensinem às suas crianças

o que ensinamos às nossas, que a terra é nossa mãe. Tudo o que acontecer à terra, acontecerá aos filhos da terra. Se os homens cospem no solo, estão cuspidos em si mesmos.

Isto sabemos: a terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra. Isto sabemos: todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. Há uma ligação em tudo.

O que ocorrer com a terra, recairá sobre os filhos da terra. O homem não tramou o tecido da vida; ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo.

Mesmo o homem branco, cujo Deus caminha e fala com ele de amigo para amigo, não pode estar isento do destino comum. É possível que sejamos irmãos, apesar de tudo. Veremos. De uma coisa estamos certos, e o homem branco poderá vir a descobrir um dia: nosso Deus é o mesmo Deus. Vocês podem pensar que o possuem, como desejam possuir nossa terra, mas não é possível. Ele é o Deus do homem, e sua compaixão é igual para o homem vermelho e para o homem branco. A terra lhe é preciosa, e feri-la é desprezar seu criador. Os brancos também passarão; talvez mais cedo do que todas as outras tribos. Contaminem suas camas, e uma noite serão sufocados pelos próprios dejetos.

Mas, quando de sua desapareição, vocês brilharão intensamente, iluminados pela força do Deus que os trouxe a esta terra e por alguma razão especial lhes deu o domínio sobre a terra e sobre o homem vermelho. Esse destino é um mistério para nós, pois não compreendemos que todos os búfalos sejam exterminados, os cavalos bravios sejam todos domados, os recantos secretos da floresta densa sejam impregnados do cheiro de muitos homens e a visão dos morros seja obstruída por fios que falam. Onde está o arvoredo? Desapareceu. Onde está a água? Desapareceu. É o final da vida e o início da sobrevivência."

- Selecione trechos da carta escrita pelo índio em que ficam registradas suas preocupações quanto ao desaparecimento do homem branco:
 - para lidar com a terra;
 - para entender a importância da preservação da qualidade do ar;
 - em relação ao respeito por outros animais.
- A que conceito está relacionada a seguinte frase da carta: "(...) a terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra (...) todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. Há uma ligação em tudo."?
- Comente este trecho da referida carta: "Contaminem suas camas, e uma noite serão sufocados pelos próprios dejetos." Que noção está embutida nessas palavras?



TESTES

1. (Unifor-CE) Em um aquário com água do mar, foi colocada uma pedra contendo 19 cracas, 4 anêmonas-do-mar, 2 caramujos e 5 talos de algas verdes. Além disso, foram colocados 6 paguros e 3 estrelas-do-mar. Esse aquário contém:

- a) seis comunidades e seis populações.
- b) uma comunidade e uma população.
- c) uma comunidade e seis populações.
- d) duas comunidades e uma população.
- e) duas comunidades e seis populações.

2. (UFU-MG) Imagine uma grande fazenda onde existia uma imensa plantação de milho. O proprietário dessa fazenda adora atirar em cobras, cachorros-do-mato, gatos e gaviões. Ele também tem a curiosa mania de presentear quem lhe traz ratos mortos. O que acontecerá se, com a inflação e a recessão, esse fazendeiro resolver economizar, parando de presentear seus caçadores de ratos?

- a) Como ratos não se alimentam de milho, a produção da fazenda não será alterada.
- b) Haverá uma diminuição na produção de milho, devido ao aumento na população de ratos, já que eles estão livres dos seus inimigos naturais.
- c) Após alguns meses, haverá uma explosão populacional de ratos, o que causará um aumento no número de casos de dengue, já que o hospedeiro intermediário dessa bactéria é o rato.
- d) Os ratos, que agora não serão mais caçados, alimentam-se das ervas daninhas e dos insetos do milharal, aumentando, portanto, a produção de milho dessa fazenda.

3. (PUC-RS) Sabe-se que a fixação do nitrogênio atmosférico constitui uma reação química importantíssima para a manutenção da vida em nosso planeta. Esse tipo de atividade química pode ser encontrado em:

- a) bactérias e cianofitas.
- b) fungos e mixofitos.
- c) pirrofitas e diatomáceas.
- d) mixofitos e algas.
- e) fungos e algas.

4. (ENEM) O Sol participa do ciclo da água, pois, além de aquecer a superfície da Terra dando origem aos ventos, provoca a evaporação da água dos rios, lagos e mares. O vapor da água, ao se resfriar, condensa em minúsculas gotinhas, que se agrupam formando as nuvens, neblinas ou névoas úmidas. As nuvens podem ser levadas pelos ventos de uma região para outra. Com a condensação e, em seguida, a chuva, a água volta à superfície da Terra, caindo sobre o solo, rios, lagos e mares. Parte dessa água evapora retornando à atmosfera, outra parte escoar superficialmente ou infiltra-se no solo, indo alimentar rios e lagos. Esse processo é chamado de ciclo da água.

Considere, então, as seguintes afirmativas:

- I — A evaporação é maior nos continentes, uma vez que o aquecimento ali é maior do que nos oceanos.
- II — A vegetação participa do ciclo hidrológico por meio da transpiração.

III — O ciclo hidrológico condiciona processos que ocorrem na litosfera, na atmosfera e na biosfera.

IV — A energia gravitacional movimenta a água dentro do seu ciclo.

V — O ciclo hidrológico é passível de sofrer interferência humana, podendo apresentar desequilíbrios.

- a) Somente a afirmativa III está correta.
- b) Somente as afirmativas III e IV estão corretas.
- c) Somente as afirmativas I, II e V estão corretas.
- d) Somente as afirmativas II, III, IV e V estão corretas.
- e) Todas as afirmativas estão corretas.

5. (Unifor-CE) As teias alimentares são essenciais para a estruturação e manutenção de comunidades e ecossistemas, porque são diretamente relacionadas aos processos de:

- a) sucessão e extinção.
- b) ciclos de nutrientes e desertificação.
- c) fluxo de energia e fluxo de informação.
- d) poluição e evolução.
- e) ciclos de nutrientes e fluxo de energia.

6. (Unifor-CE) Tendo em vista a estrutura de um ecossistema florestal e o seu fluxo de energia, pode-se dizer que o tipo de poluente mais danoso para esse tipo de ecossistema seria aquele que afetasse:

- a) animais, por serem produtores secundários.
- b) microorganismos, por serem consumidores secundários.
- c) animais, por serem consumidores primários.
- d) plantas, por serem produtores primários.
- e) árvores, por serem estruturadores secundários.

7. (UFJF-MG) “Nova York pode afundar”, diz o Greenpeace: ‘No ano 2080, Manhattan e Xangai poderão estar debaixo de água, secas e enchentes serão mais extremas e centenas de milhões de pessoas estarão em risco de fome, falta de água e doenças’” (*Folha de S. Paulo*, 28/10/2002, página A12).

Essa previsão é apresentada pela ONG Greenpeace, caso os países não reduzam a emissão de gases que provocam o efeito estufa, que consiste no:

- a) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento da concentração de gases, como o gás carbônico e o óxido nítrico.
- b) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento do buraco da camada de ozônio, que filtra os raios ultravioleta.
- c) derretimento das calotas polares, provocado pela desertificação e pelas queimadas, que liberam anidrido sulfuroso e monóxido de carbono.
- d) aquecimento global da Terra, provocado pelos gases liberados na queima de carvão e petróleo, como os clorofluorcarbonos (CFCs).
- e) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento da camada de gases como metano e ozônio, liberados pelas atividades industriais.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (UFGO) O texto que segue foi extraído de *Xadrez, truco e outras guerras*, de José Roberto Torero:

“Os abutres, sábios animais que se alimentavam do mais farto dos pastos, já começavam a sobrevoar a ala dos estropiados quando o General mandou que acampassem. Naquela tarde assaram trinta bois, quantidade ínfima para abastecer os homens que ainda sobravam... O plano dos comandantes era assaltar fazendas da região e tomar-lhes o gado...

À noite a ração foi ainda mais escassa, e, para enganar a fome, fizeram-se fogueiras para assar as últimas batatas e umas poucas raízes colhidas pelo caminho. Como o frio também aumentava, surgiu um impasse: quem ficaria perto do fogo: os coléricos, que logo morreriam, ou os sãos, que precisavam recuperar as forças para a luta?”

a) “Os abutres, sábios animais que se alimentavam do mais farto dos pastos [...]”

Os abutres são animais consumidores, que participam de modos diferentes nas diferentes cadeias alimentares.

Esquematize uma cadeia alimentar onde os abutres ocupem o terceiro nível trófico. Indique, com uma seta, o fluxo de energia dessa cadeia.

b) Explique a função dos decompositores nas cadeias alimentares.

2. (Unesp-SP) Considere a afirmação: “As populações daquele ambiente pertencem a diferentes espécies de animais e vegetais”.

Que conceitos estão implícitos nessa frase se levarmos em consideração:

a) somente o conjunto de populações?

b) o conjunto de populações mais o ambiente abiótico?

3. (Unifor-CE) Em uma comunidade são encontrados os seguintes organismos: capim, lagartas, árvores, abelhas, sapos e ratos. Quantos níveis tróficos são ocupados por esses organismos?

4. (Fuvest-SP) Esquematize duas cadeias alimentares em que você participe como consumidor primário e terciário, respectivamente.

5. (UFF-RJ) Descreva o processo pelo qual a energia solar é fixada e transformada ao longo de uma cadeia alimentar.

6. (Fuvest-SP) As fontes primárias dos elementos carbono e nitrogênio que compõem as moléculas dos seres vivos são, respectivamente, o gás carbônico e o gás nitrogênio.

a) Que organismos são capazes de fixar esses elementos?

b) Por meio de que processo celular se dá a fixação do carbono?

7. (UFF-RJ) Esclareça a importância biológica das bactérias que atuam no ciclo do nitrogênio.

8. (Unicamp-SP) O nitrogênio é essencial à vida e, embora aproximadamente 79% da atmosfera terrestre seja nitrogênio gasoso (N_2), apenas poucas bactérias e algas são capazes de utilizá-lo nessa forma.

a) Sob que forma o nitrogênio é obtido por plantas e animais?

b) Para que os seres vivos utilizam o nitrogênio?



Relações entre os seres vivos de uma comunidade e ecologia da população

1. Introdução

Os seres vivos de uma comunidade mantêm constantes relações entre si, exercendo, assim, influências recíprocas em suas populações.

Essas relações podem ocorrer entre indivíduos da mesma espécie (**relações intra-específicas**) ou entre indivíduos de espécies diferentes (**relações interespecíficas**).

Quando analisadas isoladamente, essas relações podem se revelar harmônicas ou desarmonicas.

As **relações harmônicas** ou interações positivas são aquelas em que não há prejuízo para nenhum dos indivíduos da associação. Já nas **relações desarmonicas** ou interações negativas pelo menos um indivíduo da associação sofre algum tipo de desvantagem. Entretanto, considerando o total das relações de uma comunidade, verifica-se que elas se revelam harmônicas, pois são importantes para o equilíbrio das populações que interagem.

2. Relações intra-específicas

As relações intra-específicas **harmônicas** são:

- **sociedade**: cooperação entre indivíduos da mesma espécie em que há divisão de trabalho, mantendo-se todos anatomicamente separados. Exemplo: insetos sociais, como abelhas, cupins e formigas;
- **colônia**: associação entre indivíduos da mesma espécie anatomicamente unidos entre si. Exemplo: corais.

As relações intra-específicas **desarmônicas** são:

- **canibalismo**: um indivíduo mata outro da mesma espécie para se alimentar;
- **competição intra-específica**: ocorre em praticamente todas as populações em que os indivíduos disputam recursos não-disponíveis em quantidade suficiente no ecossistema, como o alimento, por exemplo.

3. Relações interespecíficas

As relações interespecíficas podem ser:

- **harmônicas**: mutualismo, protocooperação, inquilinismo e comensalismo;
- **desarmônicas**: amensalismo, predatismo, parasitismo e competição interespecífica.

O termo **simbiose**, criado em 1879 pelo biólogo De Bary, tem sido equivocadamente utilizado como sinônimo de mutualismo. Símiose refere-se a toda e qualquer associação permanente entre in-

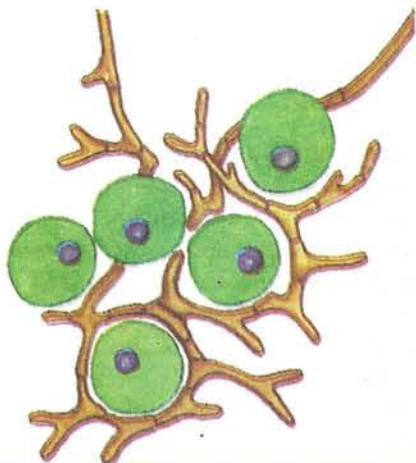
divíduos de espécies diferentes que, normalmente, exerce influência recíproca no metabolismo, seja ela uma interação positiva ou negativa.

Assim, podemos considerar três tipos bem definidos de simbiose: o parasitismo, o comensalismo e o mutualismo.

Atualmente a utilização do termo simbiose tem sido ampliada, aplicando-se a qualquer tipo de relação interespecífica.

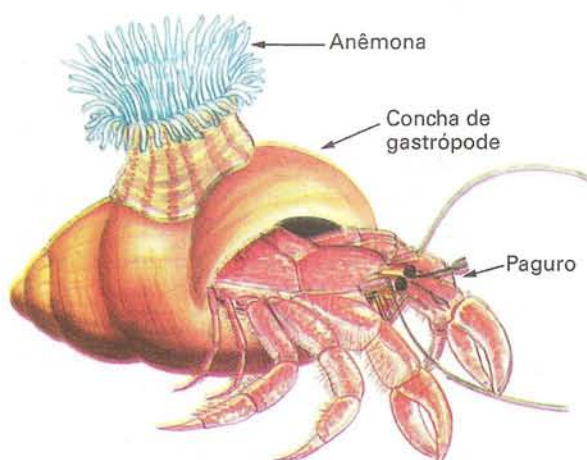
3.1. Relações interespecíficas harmônicas

- **Mutualismo:** os participantes se beneficiam e mantêm relação de dependência. Exemplo: muitos líquens (associação entre fungos e algas).



Esquema de um segmento do corpo de um líquen, mostrando hifas do fungo em contato íntimo com as células da alga. Cada célula da alga mede cerca de 95 µm de diâmetro. Elaborado com base em observações ao microscópio de luz (cores-fantasia).

- **Protocooperação:** os participantes se beneficiam e podem viver de modo independente, de modo diferente do que ocorre no mutualismo. Exemplo: relação entre a anêmona-do-mar e o paguro. Este crustáceo vive geralmente dentro de conchas vazias de gastrópodes e coloca sobre a concha uma ou mais anêmonas; estes cnidários protegem o paguro contra predação, e ele, ao se deslocar no meio, possibilita maior chance de obtenção de alimento para a anêmona.



Esquema mostrando um exemplo de protocooperação: a anêmona-do-mar e o paguro, que vive no interior de conchas vazias de gastrópodes.

- **Inquilinismo:** um indivíduo geralmente obtém proteção ao se associar a outro, sem lhe causar

prejuízo. Exemplo: orquídeas que vivem sobre árvores, falando-se nesse caso em **epifitismo**.

Fábio Colombini/Kino.com.br



Fotografia de orquídeas vivendo fixas em troncos de árvores por meio de raízes especiais que não retiram seiva dessas árvores.

- **Comensalismo:** assim como no inquilinismo, apenas um participante se beneficia, sem causar prejuízo ao outro. A associação ocorre em busca de alimento. Exemplo: tubarão e os peixes-piloto que se aproveitam dos restos dos alimentos capturados pelo tubarão.

AGB Photo Library



Fotografia mostrando um exemplo de comensalismo: tubarão e peixe-piloto, à sua frente.

3.2. Relações interespecíficas desarmônicas

- **Amensalismo ou antibiose:** os indivíduos de uma população secretam substâncias que inibem o desenvolvimento de indivíduos de outras espécies. Exemplo: fungos que secretam antibióticos, impedindo a multiplicação de bactérias.
- **Predatismo:** um indivíduo captura e mata outro de outra espécie para dele se alimentar. Quando a planta é o alimento, fala-se em **herbivorismo**. Exemplos: aranhas que se alimentam de insetos; gaviões que comem cobras; plantas carnívoras.
- **Parasitismo:** o **parasita** vive no corpo de um indivíduo de outra espécie, o **hospedeiro**, do qual retira alimento. Os parasitas podem ser classifi-

cados em **ectoparasitas** (externos ao corpo do hospedeiro) e **endoparasitas** (internos). Exemplos: carrapatos e cravo da pele (ectoparasitas); vírus, plasmódio e tripanossomo (endoparasitas).

- **Competição interespecífica:** duas ou mais populações de espécies diferentes apresentam nichos ecológicos semelhantes e disputam o mesmo

recurso do meio quando ele não é suficiente para todos. Esse mecanismo pode determinar o controle da densidade das duas populações que estão interagindo, a exclusão de uma delas ou ainda a especialização do nicho ecológico. Exemplo: diferentes espécies de ciliados que disputam o mesmo tipo de alimento.

4. Ecologia das populações

Nos ecossistemas em equilíbrio o tamanho das populações mantém-se mais ou menos constante ao longo do tempo. Alterações no tamanho de uma população podem determinar alterações em outras populações que com ela coexistem, provocando desequilíbrios ecológicos.

Estudaremos em seguida:

- as principais características de uma população: densidade e potencial biótico;
- os principais fatores reguladores do tamanho das populações, fundamentais para a manutenção do equilíbrio do ecossistema. Embora os fatores abióticos, como o clima, sejam importantes, vamos deter nossa atenção apenas nos fatores bióticos, dentre os quais destacamos os quatro principais: competição intra-específica, competição interespecífica, predação e parasitismo.

4.1. Principais características de uma população

Densidade

A densidade corresponde ao número de indivíduos de uma população em determinada área ou volume.

$$\text{Densidade (D)} = \frac{\text{Número de indivíduos da população (N)}}{\text{Unidade de área ou de volume (A)}}$$

$$D = \frac{N}{A}$$

O crescimento de uma população depende de dois conjuntos de fatores: um que contribui para o **aumento da densidade**, do qual fazem parte as taxas de natalidade e de imigração, e outro que contribui para a **diminuição da densidade**, formado pelas taxas de mortalidade e de emigração. O modo como esses fatores interagem determina se o crescimento da população sofre variação e, em caso afirmativo, permite analisar as causas dessa variação.

A **taxa de natalidade** corresponde à velocidade com que novos indivíduos são adicionados à população, por meio da reprodução.

A **taxa de mortalidade** corresponde à velocidade com que indivíduos são eliminados da população, por morte.

Em ambas as taxas, o fator tempo é importante.

Em populações naturais, geralmente a taxa de mortalidade é mais alta em populações com alta taxa de natalidade. Uma população de ostras, por exemplo, produz milhares de ovos em cada estação reprodutiva, mas apenas alguns deles formam indivíduos que atingem a idade adulta ou reprodutiva. Nos grandes mamíferos, entretanto, a taxa de natalidade é menor do que a verificada em populações de ostras, mas a taxa de mortalidade também é menor.

Isoladamente, cada uma dessas taxas diz pouco sobre o crescimento de uma população, cujo **índice de crescimento** é assim definido:

$$\text{Índice de crescimento (IC)} = \frac{\text{Taxa de natalidade (TN)}}{\text{Taxa de mortalidade (TM)}}$$

$$IC = \frac{TN}{TM}$$

Quando a taxa de natalidade é alta e a de mortalidade é baixa, a população está crescendo e o índice de crescimento é **maior que 1**. Ao contrário, quando a taxa de mortalidade é mais alta do que a de natalidade, a população está diminuindo e o índice de crescimento é **menor que 1**.

Em países desenvolvidos, a taxa de natalidade e a taxa de mortalidade da espécie humana se aproximam, resultando em um índice de crescimento próximo de 1.

A taxa de imigração e a taxa de emigração correspondem, respectivamente, ao número de indivíduos que entram em uma população e ao número dos que dela saem, por unidade de tempo. Esses dois mecanismos correspondem à dispersão ou migração.

Potencial biótico

O potencial biótico de uma população corresponde à sua capacidade potencial para aumentar o número de indivíduos em condições ideais, isto é, sem que nada impeça esse aumento.

Na natureza, entretanto, verifica-se que o tamanho das populações permanece relativamente constante devido a um conjunto de fatores que se opõem ao potencial biótico. A esse conjunto de fatores dá-se o nome de **resistência ambiental**.

Para determinar a resistência ambiental calculamos a diferença entre a taxa teórica de crescimento de uma população em condições ideais (potencial biótico) e a taxa real observada na natureza.

Quando uma população inicia a colonização de um ambiente propício ao seu desenvolvimento, verifica-se que o crescimento inicial é lento, pois há pequeno número de indivíduos e, conseqüentemente, a taxa de reprodução é pequena. À medida que aumenta o número de organismos, a taxa de reprodução também aumenta, determinando o crescimento da população.

Se não houvesse fatores de resistência do meio, o crescimento da população seria exponencial, representando o seu **potencial biótico**. No entanto, à medida que a população cresce, a resistência ambiental aumenta, reduzindo o crescimento populacional. Isso ocorre até que se estabeleça um equilíbrio entre a resistência ambiental e o potencial biótico. A partir de então temos uma população cujo tamanho é o máximo para aquele ambiente em função da resistência do meio. No entanto, pequenas oscilações podem ocorrer em torno desse tamanho máximo.

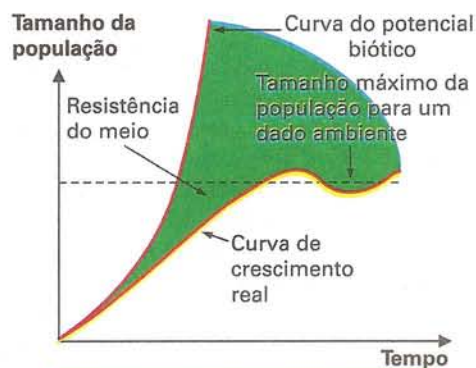


Gráfico das curvas de crescimento potencial e real de uma população.

Já passamos do limite?

Sempre que se fazem balanços sobre a população no mundo e no Brasil surge a pergunta: já teremos passado do limite? Quantos habitantes comporta a Terra? E o Brasil?

A discussão vem pelo menos desde a década de 1960, quando o respeitado biólogo norte-americano Paul Ehrlich publicou *The population bomb* (Bomba populacional). Já então se mostrava que a espécie humana levaria milhões de anos para chegar a 1 bilhão de espécimes, em 1830, mas não precisara mais do que 97 anos, menos de um século, para dobrar essa população (em 1927) e apenas 33 anos para chegar ao terceiro bilhão (1960). De lá para cá a velocidade acelerou-se. Bastaram 14 anos para somar mais 1 bilhão (1974), 13 anos para chegar ao quinto bilhão (1977) e 12 anos para o sexto, na virada de 1999 para 2000. Isto é, 40 anos para dobrar de novo o número de habitantes, 73 anos para triplicá-lo.

Já há muito tempo o futurólogo Arthur C. Clarke, que acertou tantas previsões, afirma que nosso pequeno e limitado planeta não comporta mais de 1 bilhão de pessoas. *The Living Earth Report 2000* (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) pareceu dar-lhe razão ao dizer que, considerando alimentos, energia e recursos naturais, já estamos consumindo 42,5% além da capacidade de reposição da biosfera e aumentando esse déficit 2,5% a cada ano. Mais grave ainda, se todos os habitantes da Terra consumissem como europeus ou norte-americanos, seriam necessários três planetas Terra, não apenas um.

O recente relatório do Fundo das Nações Unidas para a População desperta mais inquietações. Segundo o documento, a população do mundo já está em 6,1 bilhões e vai chegar ao ano de 2050 com 9,3 bilhões, dos quais 85% vivendo nos chamados países em desenvolvimento — enquanto 86% do consumo já se concentra hoje nos países industrializados, com menos de 20% da população.

No Brasil, as projeções do IBGE são de que já em 2005 a taxa média de filhos por mulher cairá de 2,2 (no ano 2000) para 2,15. Em uma das regiões do país, a Sudeste, essa taxa já está em 2,1. A estimativa é de que cheguemos a 247,2 milhões de pessoas em 2050, ou seja, 77 milhões a mais do que na virada do século.

Hoje já temos 81,2% da população vivendo nas zonas urbanas e, embora estudiosos afirmem que essas taxas não revelam o real significado da situação — pois grande parte da população das cidades menores continua a se relacionar com atividades da zona rural —, a população urbana continuará crescendo mais que a rural. As cidades com mais de 100 mil habitantes, que hoje significam mais de 50% da atual proporção, reunirão um total de mais de 120 milhões de pessoas em 2050.

Considerado o atual quadro urbano brasileiro, com todas as suas graves deficiências, pode-se antever uma situação extremamente difícil para a administração pública. Seja em termos de manutenção e ampliação de infra-estruturas (saúde, educação, transporte, limpeza urbana), seja em termos ambientais, seja quanto ao emprego e à segurança [...].

Não estamos habilitados a cuidar de uma população que envelhece rapidamente e precisa de uma rede de saúde capaz de atender às moléstias dessa faixa de idade (a expectativa média de vida já está em 68,6 anos).

Não estamos tendo êxito em políticas desconcentradoras de renda. E com isso agravamos o quadro dramático da insegurança geral, não apenas física.

O mundo parece aproximar-se da encruzilhada que alguns chamam civilizatória. Terá de inventar novos formatos de viver, adequados às disponibilidades de recursos, capazes de promover justiça social. Sem ela não haverá como ter segurança.

Passageiros desta nave coletiva, teremos, no Brasil, de ajustar-nos a ela e a suas possibilidades. E ainda com a tarefa de encaminhar soluções específicas para nossos dramas.

Não será pouco nem será fácil. Mas terá de ser rápido.

Adaptado de: *O Estado de S. Paulo*, 28 dez. 2001.

Estrutura etária

A estrutura etária de uma população refere-se à proporção dos indivíduos das várias faixas etárias.

Populações em crescimento possuem muitos indivíduos jovens, enquanto populações estáveis apresentam maior equilíbrio entre o número de jovens e o de adultos. Populações em declínio apresentam menor proporção de jovens em relação às demais classes etárias.

Esses dados podem ser apresentados em diagramas, e neles podemos especificar para cada classe etária a porcentagem de representantes dos sexos feminino e masculino, como mostram os diagramas a seguir. Observe que no país desenvolvido os indivíduos distribuem-se mais uniformemente entre as faixas etárias.

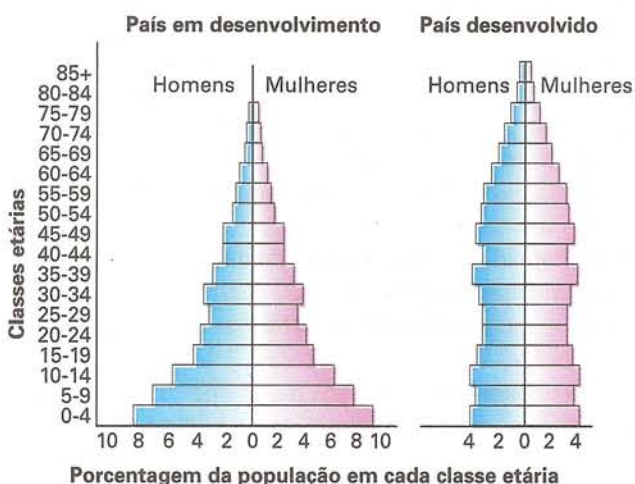


Gráfico de pirâmides etárias.

4.2. Fatores reguladores do tamanho da população

Competição intra-específica

A competição intra-específica determina, basicamente, a densidade da população em determinado local. Um exemplo desse tipo de competição é a **territorialidade**: disputa por espaço.

A delimitação de um "território", ou seja, de um espaço em que um grupo de organismos passa a agir sem a interferência de outro grupo dessa população é um comportamento bem conhecido para muitas espécies de peixes, aves e mamíferos.

O território é em geral delimitado pelo macho da espécie no início da estação reprodutiva e defendido por ele contra outros machos da mesma população. Entretanto, nem todos os machos da população conseguem estabelecer o seu território. Assim, apenas os que o conseguem têm maior probabilidade de atrair fêmeas e se reproduzir.

A territorialidade ajuda, portanto, a evitar a superpopulação, pois determina um espaço mínimo por casal ou por grupo de indivíduos.

Competição interespecífica

A competição interespecífica ocorre quando duas populações de espécies diferentes, em uma mesma comunidade, apresentam nichos ecológicos iguais ou muito semelhantes, desencadeando um mecanismo de disputa pelos mesmos recursos do meio, quando estes não são suficientes para as duas populações. Esse mecanismo pode determinar o

controle da densidade das duas populações que estão interagindo, a especialização do nicho ecológico ou ainda a extinção de uma delas. Neste último caso, verifica-se o princípio da exclusão competitiva ou princípio de Gause, nome dado em homenagem ao pesquisador que o formulou. De acordo com esse princípio, duas espécies podem ter o mesmo hábitat, mas não podem ocupar o mesmo nicho por muito tempo, havendo exclusão de uma delas.

Predação

A relação entre predador e presa em comunidades estáveis evolui de modo a estabelecer equilíbrio entre os indivíduos dessa relação. A população de predadores pode determinar a densidade de presas e vice-versa.

Um exemplo clássico da relação predador e presa no controle populacional tanto do predador quanto da presa é dado pelas lebres e pelos linces que vivem nas regiões frias do Canadá.

A Companhia da Baía de Hudson acompanhou, de 1845 a 1935, a quantidade de peles desses animais que eram caçados. Observe os dados no gráfico a seguir:

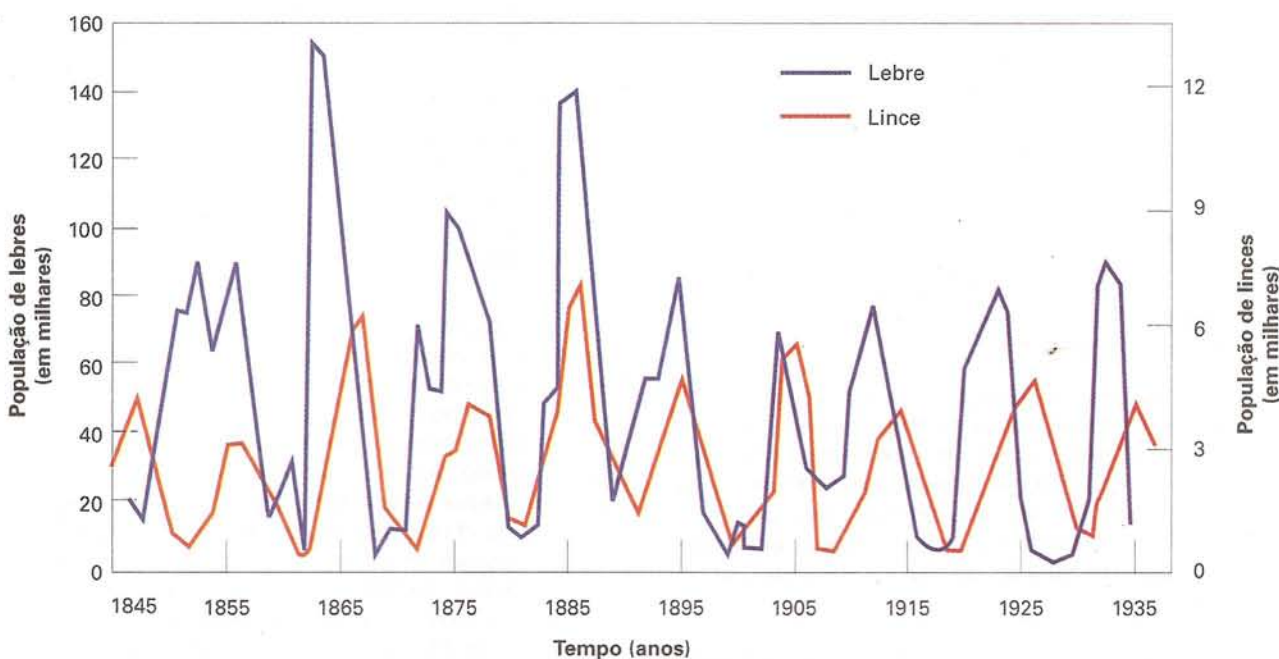


Gráfico que mostra a variação do número de lebres e de linces, exemplificando a relação presa—predador.

À medida que aumenta o número de lebres, aumenta o número de linces, que passam a ter mais alimento. O aumento do número de linces reduz a quantidade de lebres, pois elas serão mais predadas. Quando a população de lebres diminui, a população de linces também diminui, pois há menos alimento. Havendo menos linces, menor número de lebres é predado e essa população aumenta, recomendo o ciclo.

Parasitismo

Os parasitas são mais específicos que os predadores na obtenção de alimento. Enquanto os predadores podem procurar várias outras fontes de alimento quando uma população de presas é reduzi-

da, os parasitas geralmente se instalam apenas em uma ou em algumas espécies.

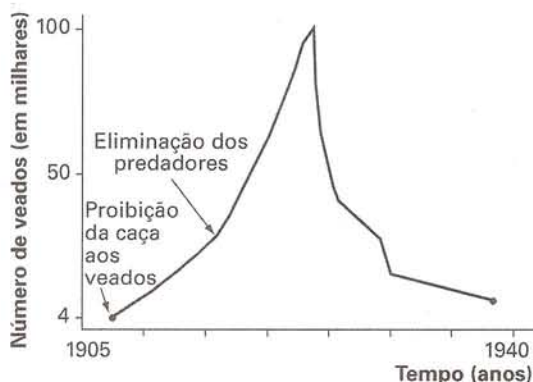
Essa característica é importante para os estudos feitos atualmente sobre o controle biológico de pragas. O controle por meio de parasitas parece mais adequado, por ser específico. Já um predador empregado como agente controlador pode utilizar-se de outro recurso, provocando alterações nas redes alimentares.

Pardais originários da Inglaterra, por exemplo, foram introduzidos em Nova York para controlar uma espécie de lagarta. No entanto, os pardais encontraram vários outros alimentos além dessa espécie de lagarta, espalhando-se pelos Estados Unidos e tornando-se praga em alguns lugares.



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. No estado do Arizona (Estados Unidos) foi feito um programa de preservação da população de veados, proibindo sua caça e estimulando a de seus predadores (pumas, coiotes e lobos). Inicialmente, verificou-se um aumento significativo dessa população, mas, após alguns anos, ela voltou a se reduzir drasticamente. Veja a representação desse fato no gráfico abaixo:



Com base nessas informações, proponha hipóteses para explicar a drástica redução do número de veados, na ausência de seus predadores.

2. Certas espécies de plantas produzem substâncias que, ao serem liberadas no solo, impedem a germinação de sementes ao seu redor. Isso é um mecanismo natural para evitar que outras plantas se estabeleçam perto delas e venham a competir por recursos do meio. Uma planta que tem esse comportamento é o eucalipto. Como você classificaria esse tipo de relação ecológica? Explique sua resposta.

3. Há um ditado popular que diz: “Bicho de goiaba, goiaba é”. Na verdade, o bicho da goiaba é uma larva esbranquiçada de um inseto, que pode ocorrer também em outros frutos, como pêssego, caqui e ameixa. Esse inseto, cuja fêmea introduz seus ovos no interior dos frutos, é uma mosca de cor amarelada e do tamanho da mosca doméstica. Desses ovos surgem larvas que se alimentam do fruto, induzindo

sua queda prematura ou seu apodrecimento. Após a queda do fruto, a larva sai, enterra-se no solo, passa para o estágio de pupa e transforma-se no adulto. Como você classificaria essa relação ecológica? Explique sua resposta.

4. Um cientista verificou que as corujas de certa região alimentavam-se preferencialmente de camundongos e acompanhou as variações no número de indivíduos dessas populações ao longo do tempo. Construa um gráfico que mostre as curvas teóricas que esse cientista deve ter encontrado para a população de corujas e de camundongos e que evidenciaria uma relação predador-presa.

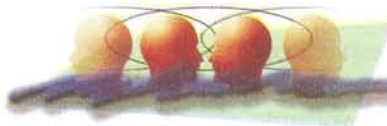
5. Alguns cientistas afirmam que a proliferação humana é a maior ameaça ao ambiente do planeta. Com base nesse real alerta, qual sua posição no que se refere ao controle da natalidade e ao planejamento familiar?

6. Discuta a seguinte frase, dita pelo cientista austríaco Konrad Lorenz, Prêmio Nobel de Medicina de 1973, falecido em fevereiro de 1989: “Não importa apenas saber quantos homens a Terra pode alimentar, mas a partir de qual densidade os homens começarão a se odiar uns aos outros”.

7. Nas relações ecológicas interespecíficas costumam-se representar os efeitos da relação com sinais, que revelam o efeito dessa relação sobre as espécies envolvidas. O sinal + é usado quando os indivíduos da população são beneficiados; o sinal -, quando os indivíduos são prejudicados; e o sinal 0, quando não há prejuízo nem benefício.

Com base nessa classificação, faça uma tabela como esta e indique os efeitos das seguintes relações: mutualismo, protocooperação, inquilinismo (sendo A inquilino de B), comensalismo (sendo A comensal e B hospedeiro), amensalismo (com A amensal sobre B), predatismo (com A predador de B), herbivorismo (sendo A herbívoro e B planta), parasitismo (sendo A parasita e B hospedeiro) e competição.

Tipo de relação interespecífica	Efeito sobre a espécie A	Efeito sobre a espécie B



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Um exemplo real de desequilíbrio ecológico

Na década de 1960, a Organização Mundial da Saúde (OMS) aplicou, por via aérea, verdadeiras nuvens de DDT em extensas áreas da Ilha de Bornéu, localizada no Oceano Pacífico. Com isso, a OMS visava combater os pernilongos que transmitiam a malária, um grande problema de saúde no local.

Inicialmente, os resultados foram ótimos: como os transmissores foram combatidos, houve grande

redução dos casos de malária.

Algum tempo depois, entretanto, dois grandes problemas começaram a surgir na Ilha de Bornéu: houve um surto de ratos, e as casas dos nativos, que eram construídas com palha de coqueiro, começaram a cair.

Depois de muitas investigações, constataram que esses problemas estavam relacionados com a aplicação do DDT. Esse inseticida, além de matar os pernilongos, também afetava outros insetos, como abelhas, besouros e baratas. Os que não chegavam a morrer ficavam contaminados pelo DDT e com menor possibilidade de fugir de seus predadores: os lagartos. Ao ingerirem suas presas, os lagartos ficavam contaminados, pois o DDT tem a propriedade de se acumular nos tecidos e ao longo das cadeias alimentares. Esses lagartos ficavam mais lentos, tornando-se presas fáceis dos gatos, seus predadores. Ao ingerirem os lagartos contaminados, os gatos acabavam mor-

rendo. Com a morte dos gatos, a população de ratos começou a aumentar, pois seus predadores haviam diminuído. Instalou-se assim a praga de ratos na ilha, o que fez com que a OMS introduzisse gatos de outros locais para o controle dos ratos.

Ao mesmo tempo, com a redução do número de lagartos, começou a haver a proliferação de outro inseto que era comido pelo lagarto: uma espécie de barata que se alimenta principalmente de palha de coqueiro. As casas dos nativos, construídas com essa palha, começaram a cair, pois as baratinhas proliferaram excessivamente sem o seu predador. Para resolver esse problema, a OMS precisou levar para a Ilha de Bornéu um tipo de lagarto que controlasse a população desses insetos.

O equilíbrio, enfim, foi restabelecido.

Quem poderia imaginar que uma ação para combater a malária pudesse provocar o surto de ratos e a queda das casas?

- Esse caso é apenas mais um exemplo do que pode ocorrer pela falta de cuidado na manipulação do meio ambiente. Monte por meio de representação esquemática as relações entre os fatos comentados no texto e discuta seu esquema com seus colegas e professores.



TESTES

1. (Fuvest-SP) O tipo de relação ecológica que se estabelece entre as flores e as abelhas que nelas coletam pólen e néctar é:

- | | |
|------------------|-----------------|
| a) comensalismo. | d) mutualismo. |
| b) competição. | e) parasitismo. |
| c) herbivorismo. | |

2. (PUC-RS) Em condições naturais, bactérias do gênero *Rhizobium* vivem há milênios em estreita relação ecológica com plantas leguminosas. Podemos afirmar que as duas espécies se beneficiam numa relação obrigatória, em que a sobrevivência de uma depende da outra. Este tipo de relação interespecífica é conhecido como:

- | | |
|---------------------|-----------------|
| a) comensalismo. | d) mutualismo. |
| b) protocooperação. | e) amensalismo. |
| c) inquilinismo. | |

3. (Unesp-SP) Um gavião, que tem sob suas penas carrapatos e piolhos, traz preso em suas garras um rato, com pulgas em seus pêlos. Entre o rato e as pulgas, entre os carrapatos e os piolhos e entre o gavião e o rato existem relações interespecíficas denominadas, respectivamente:

- | |
|---|
| a) inquilinismo, competição e predatismo. |
| b) predatismo, competição e parasitismo. |

- | |
|--|
| c) parasitismo, competição e predatismo. |
| d) parasitismo, inquilinismo e predatismo. |
| e) parasitismo, predatismo e competição. |

4. (Unifor-CE) O tipo de relação existente entre a anêmona-do-mar e o paguro é o mesmo que se verifica entre:

- | |
|---|
| a) cães e as pulgas que se alimentam do seu sangue. |
| b) bois e os pássaros que se alimentam de seus carrapatos. |
| c) tubarão e os peixes-piloto que se alimentam de restos de sua comida. |
| d) leões e os antílopes que lhes servem de alimento. |
| e) pulgões e as formigas que se alimentam de suas secreções açucaradas. |

5. (UFSE) Sobre as conchas de mexilhões vivos podem ser encontradas colônias de cnidários hidrozoários. A relação existente entre esses organismos pode ser comparada com a que ocorre entre:

- | |
|-------------------------------------|
| a) orquídeas e árvore. |
| b) carrapatos e boi. |
| c) cipó-chumbo e roseira. |
| d) pulgas e gatos. |
| e) erva-de-passarinho e laranjeira. |

6. (PUC-MG) Os bananais são protegidos pela ação de um fungo contra um besouro, popularmente chamado de moleque-da-bananeira. Para combater a broca-da-cana e a lagarta-da-mandioca, usa-se uma vespa específica. Esses tipos de combates são denominados:

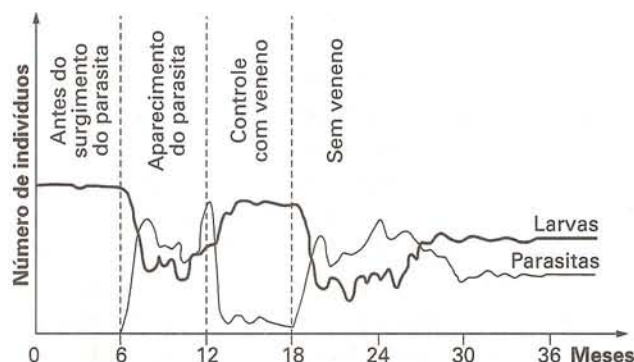
- a) resistência ambiental. c) praguicida. e) potencial biótico.
b) antitoxina. d) controle biológico.

7. (ENEM) Um produtor de larvas aquáticas para alimentação de peixes ornamentais usou veneno para combater parasitas, mas suspendeu o uso do produto quando os custos se revelaram antieconômicos.

O gráfico ao lado registra a evolução das populações de larvas e parasitas.

O aspecto **biológico** ressaltado a partir da leitura do gráfico, que pode ser considerado o melhor argumento para que o produtor não retome o uso do veneno, é:

- a) A densidade populacional das larvas e dos parasitas não é afetada pelo uso do veneno.
b) A população de larvas não consegue se estabilizar durante o uso do veneno.
c) As populações mudam o tipo de interação estabelecida ao longo do tempo.
d) As populações associadas mantêm um comportamento estável durante todo o período.
e) Os efeitos das interações negativas diminuem ao longo do tempo, estabilizando as populações.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unesp-SP) Numa determinada região, onde a malária ocorre em níveis crescentes, certos peixes comem larvas de mosquitos anofelíneos, que sugam o sangue humano, onde se reproduz o plasmódio, causador da malária.

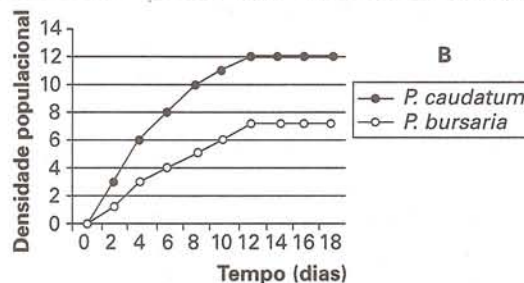
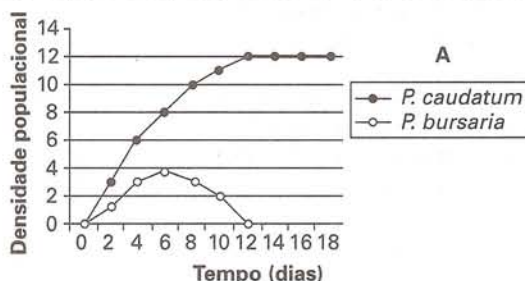
- a) Quais são as relações ecológicas entre os peixes e as larvas de anofelíneos e entre o plasmódio e o homem?
b) Se nos rios desta região, onde proliferam larvas do mosquito, também houvesse sapos e as cobras fossem exterminadas, o que deveria ocorrer com o índice de casos de malária nesta região? Justifique.

2. (Vunesp-SP) Um grupo de estudantes, em visita à zona rural, observou bois e gafanhotos alimentando-se de capim; orquídeas, líquens e erva-de-passarinho em troncos de árvores; lagartos caçando insetos e, no pasto, ao lado de vários cupinzeiros, anus retirando carrapatos do dorso dos bois.

- a) Identifique, entre as diferentes relações descritas no texto, dois exemplos de parasitismo.
b) Entre as relações observadas pelos estudantes, cite uma relação interespecífica de benefício mútuo e uma estrutura que indique uma relação intra-específica.

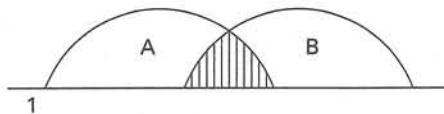
3. (UFRJ) O biólogo russo G. F. Gause realizou uma série de experimentos em laboratório com duas espécies de protozoários, *P. caudatum* e *P. bursaria*. Esses protozoários podem alimentar-se de bactérias e leveduras, mas um não come o outro. No primeiro experimento, as duas espécies de protozoários foram postas num meio líquido e apenas bactérias foram oferecidas como alimento. Os resultados desse experimento estão apresentados no gráfico A.

No segundo experimento, receberam como alimento bactérias e leveduras. Os resultados são mostrados no gráfico B.

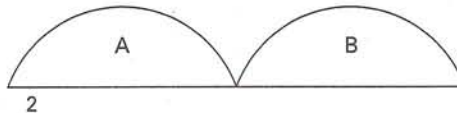


- a) Que conceito ecológico pode ser deduzido do primeiro experimento?
b) Como podem ser interpretados os resultados do segundo experimento?

4. (Unesp-SP) Considere os esquemas 1 e 2, representativos das populações A e B em dois momentos diferentes. Em um primeiro momento, ter-se-ia:



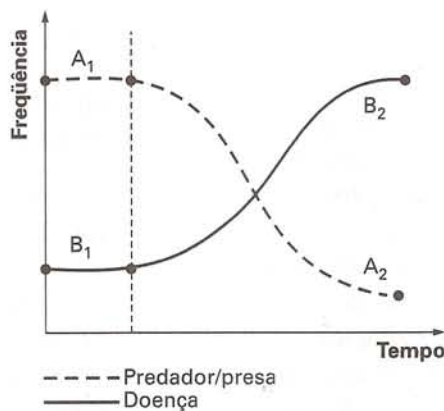
Após determinado período de tempo, a representação seria:



Compare os dois esquemas e responda:

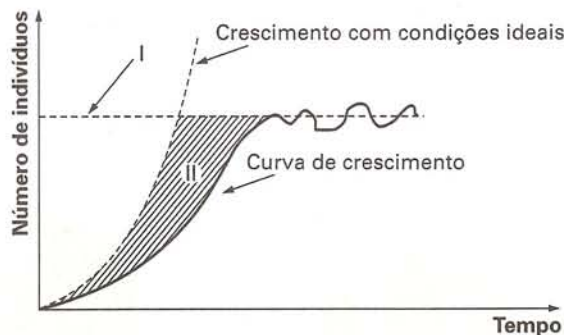
- O que representa a região hachurada no esquema 1?
- O que poderia ter ocorrido com os indivíduos correspondentes a essa região, no esquema 2?

5. (Unesp-SP) O gráfico abaixo representa a situação de uma determinada doença em uma população humana e a relação predador/presa (rato) na mesma localidade habitada por essa população.



Analise o gráfico e verifique o que está acontecendo nos segmentos A₁ e B₁, A₂ e B₂.

6. (UFCE) O gráfico abaixo mostra que a curva de crescimento real de uma população biológica não acompanha a curva de crescimento em condições ideais, devido aos fatores I e II.



- Quais são esses fatores?
- Até quando o crescimento de qualquer população será ascendente?



Sucessão ecológica e biomas

1. A dinâmica das comunidades: sucessão ecológica

Os organismos que compõem uma comunidade sofrem influência de seu ambiente, mas também atuam sobre ele, provocando pequenas alterações locais. Essas alterações podem estabelecer novas condições eventualmente favoráveis à instalação de outras espécies e desfavoráveis às espécies já existentes na comunidade. Assim, podem ocorrer mudanças nas comunidades, ao longo do tempo, que acabam por levar ao estabelecimento de uma comunidade estável, auto-regulada, que não sofre alterações significativas em sua estrutura.

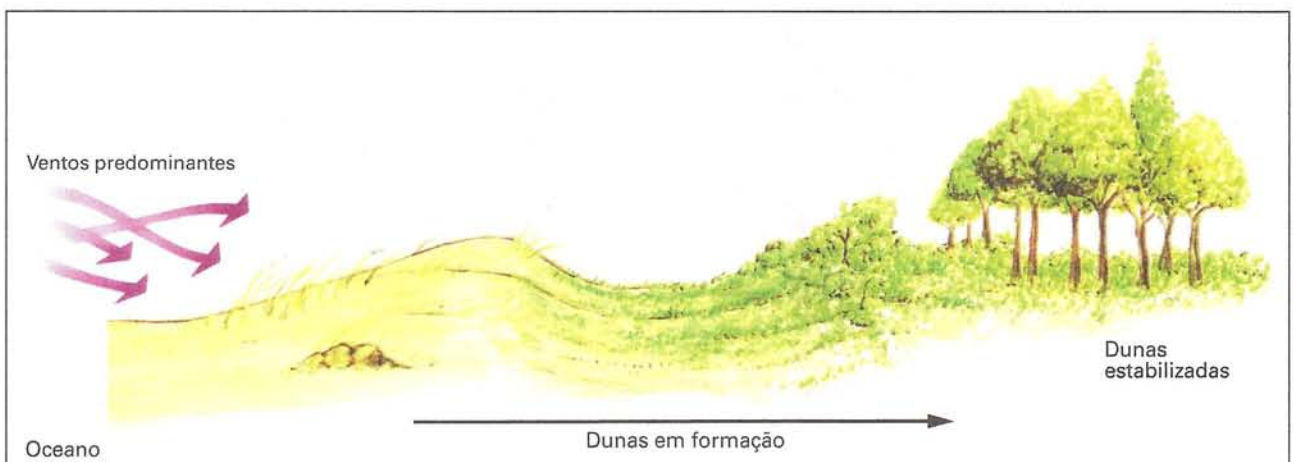
Essa comunidade estável é denominada **comunidade clímax**, e a seqüência de estágios de seu desenvolvimento é chamada **sucessão ecológica**. Cada estágio da sucessão, ou seja, cada comunidade estabelecida durante o desenvolvimento da comunidade clímax, é denominado **estágio seral** ou **sere**.

Uma sucessão ecológica pode ser definida em função de três características básicas:

- é um processo ordenado e dirigido;
- ocorre como resposta às modificações nas condições ambientais locais, provocadas pelos próprios organismos dos estágios serais;
- termina com o estabelecimento de uma comunidade clímax, que não sofre mais alterações em sua estrutura, desde que as condições macroclimáticas não se alterem.

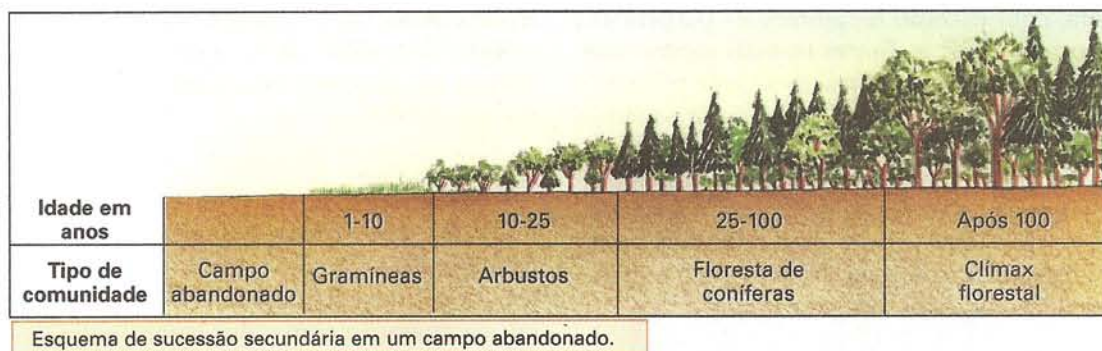
A sucessão ecológica pode ser primária ou secundária, dependendo de seu estágio inicial.

A sucessão é **primária** quando o início da colonização ocorre em regiões anteriormente desabitadas, que não reúnem condições favoráveis à sobrevivência da grande maioria dos seres vivos. É o que acontece, por exemplo, em superfícies de rochas nuas, de dunas de areia recém-formadas e de lavas vulcânicas recentes; poucas espécies conseguem suportar as condições adversas desses locais.



Esquema de sucessão primária em dunas.

A sucessão é **secundária** quando o desenvolvimento de uma comunidade tem início em uma área anteriormente ocupada por outras comunidades bem estabelecidas, como terras de cultura abandonadas, campinas aradas e florestas recém-derrubadas.



As sucessões primárias em geral demoram mais tempo do que as secundárias para atingir o clímax. Estudos de sucessão primária em dunas ou em regiões de derramamento de lava estimam que sejam necessários pelo menos 1 000 anos para o desenvolvimento de uma comunidade clímax.

Por sua vez, a sucessão secundária em terras

onde houve derrubada de matas pode levar apenas 100 anos em clima úmido e temperado.

As espécies que iniciam o processo de sucessão são chamadas **espécies pioneiras**.

Ao longo da sucessão, as comunidades que se instalam sofrem mudanças em sua estrutura. As principais estão resumidas na tabela a seguir:

Características da comunidade	Tendências na sucessão, do estágio inicial até o clímax
Composição em espécies	A composição muda rapidamente no início e mais lentamente nos estágios intermediários, mantendo-se aproximadamente constante no clímax. As espécies importantes nos estágios iniciais podem não ser importantes nem ocorrer no clímax.
Diversidade de espécies (número de espécies presentes em uma comunidade)	A diversidade inicial é baixa, havendo predomínio de autótrofos. Ao longo da sucessão ocorre aumento na diversidade e no número de heterótrofos. No clímax a diversidade é alta e estável. Às vezes a diversidade aumenta ao longo da sucessão e declina um pouco no clímax.
Biomassa	Aumenta.
Teia alimentar	Torna-se mais complexa, pois surgem novos nichos ecológicos.

2. Biomas

Os biomas são comunidades clímax, estáveis e bem desenvolvidas, com organismos adaptados às condições ecológicas locais. Existem biomas aquáticos (marinhos ou de água doce) e biomas terrestres.

2.1. Biomas aquáticos

Os biomas aquáticos estão representados pelos oceanos, rios (biomas lóticos) e lagos (biomas lênticos). Tanto nos biomas lóticos quanto nos lênticos os seres vivos são considerados em três grandes categorias:

- **plâncton**: compreende organismos geralmente microscópicos que vivem em suspensão na coluna de água e são passivamente carregados pelas correntezas. No plâncton os organismos clorofilados compõem o **fitoplâncton** (algas), e os heterótrofos, especialmente protozoários e pequenos animais, constituem o **zooplâncton**;
- **nécton**: compreende os animais nadadores ativos que vivem na coluna de água, como é o caso de muitos peixes;

- **bentos**: compreende os organismos que vivem em contato com o substrato de forma fixa (sésil), como os corais e as algas, ou de forma vágil, isto é, deslocando-se livremente, como os caranguejos.

Vamos conhecer um pouco cada um dos biomas aquáticos.

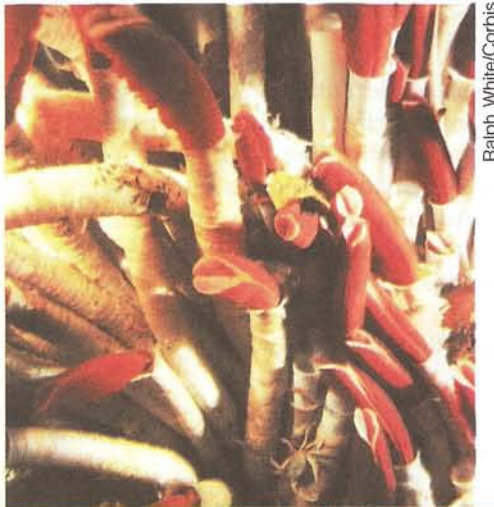
Oceanos

Os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície da Terra, constituindo o maior ecossistema do nosso planeta.

O fitoplâncton marinho é o principal responsável pela produção de oxigênio para a atmosfera. Essa produção é sempre maior próximo à costa, pois nessa região há maior concentração de nutrientes provenientes dos rios. Além disso, os oceanos são profundos e a produção de oxigênio limita-se à faixa que recebe luz, denominada **zona fótica**, que em águas claras chega até cerca de 200 m de profundidade.

A zona dos oceanos que não recebe luz é denominada **afótica**. Nessa região a vida é principalmente

heterótrofa, com exceção de ambientes particulares descobertos em 1977: as **fontes termais submarinas**. Elas ocorrem entre 2 mil e 4 mil metros de profundidade, ao redor de fendas que liberam água aquecida e rica em H_2S , usado por bactérias quimiossintetizantes na síntese de matéria orgânica. Nesses locais os produtores são essas bactérias, que sustentam uma rica comunidade de animais, inclusive com indivíduos relativamente grandes, como mostra a figura a seguir.



Ralph White/Corbis

Fotografia de vermes tubícolas (cerca de 1 m de altura), típicos dos ambientes de fontes termais submarinas, e caranguejo.

A comunidade das fontes termais submarinas difere das outras comunidades presentes na zona

afótica. Estas são compostas apenas de seres heterótrofos e dependem de detritos, como restos de organismos em decomposição, que caem das águas menos profundas.

Biomass de água doce

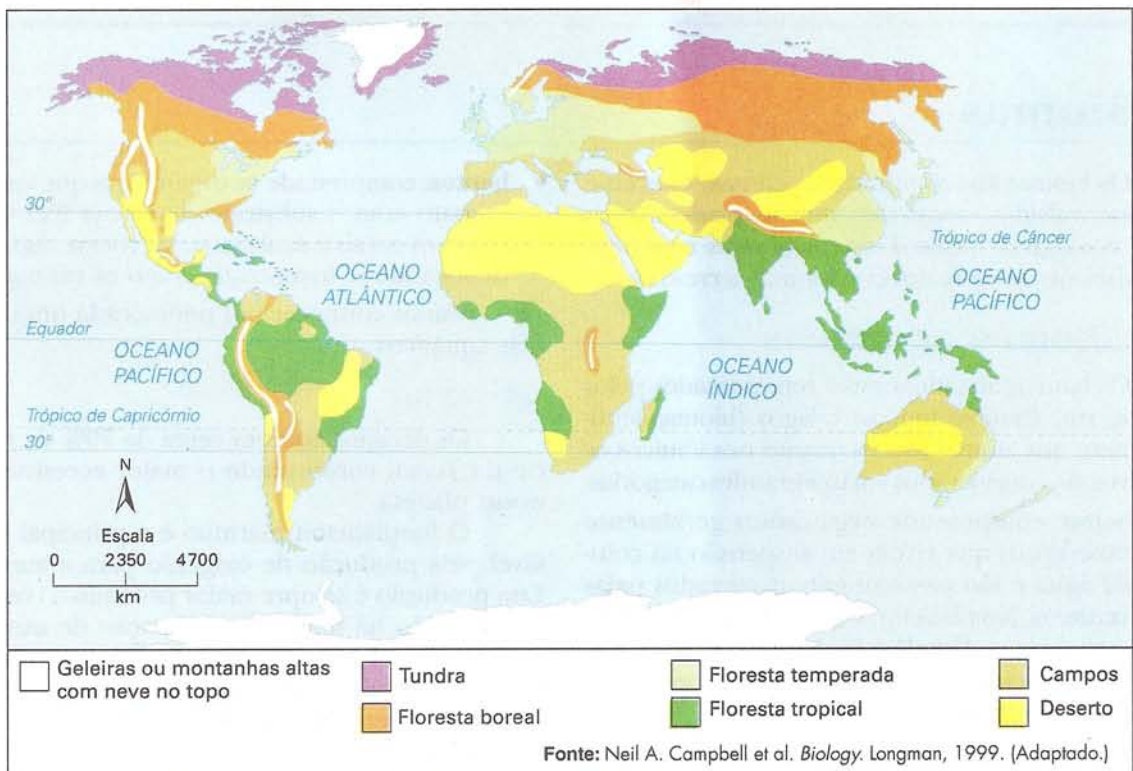
Os rios normalmente são bem oxigenados devido ao movimento constante de suas águas. Nelas, a quantidade de plâncton geralmente é menor em comparação com a dos lagos.

A movimentação da água dos lagos ocorre em condições especiais, como é o caso de lagos de regiões temperadas. Nesses casos, a água mais fria da superfície afunda duas vezes por ano, ao mesmo tempo em que a água do fundo sobe. Esse fenômeno propicia distribuição do oxigênio e de nutrientes minerais, o que não ocorre em outros tipos de lagos.

2.2. Biomass terrestres

Os biomass terrestres são geralmente caracterizados e identificados por suas plantas mais abundantes, razão pela qual falamos em formações fitogeográficas (*fito* = planta).

Os principais biomass terrestres são: **tundra**, **floresta boreal**, **floresta temperada**, **floresta tropical**, **campos** e **desertos**.



Mapa da ocorrência dos diferentes biomass terrestres no mundo.

Tundra

A tundra ocorre no hemisfério norte, próximo à região de gelo permanente (calota polar), formando um cinturão entre as latitudes de 60° e 80° Norte. O clima muito frio e seco dessa região apresenta apenas três meses menos frios no ano. No solo o degelo só ocorre no verão, formando grandes brejos.

As plantas características da tundra são herbáceas, como o capim e o junco, além de muitos musgos, líquens e alguns poucos arbustos.

A fauna está representada por renas, lemingues (pequenos roedores), ptármigas (aves do tamanho de um pombo), raposas, bois almiscarados, lebres árticas, lobos árticos, muitos insetos e aves migratórias.

Floresta boreal

A floresta boreal (taiga) localiza-se em regiões de clima frio, com invernos rigorosos. Ocorre principalmente ao sul da tundra, no hemisfério norte. As plantas típicas são as coníferas, grupo ao qual pertencem pinheiros e abetos — árvores sempre verdes, que não perdem as folhas nos meses frios do ano.

A fauna está representada por lobos, ursos, lebres, lince, alces, cervos, dentre outros animais.

Floresta temperada

As florestas temperadas são bem desenvolvidas em regiões de clima temperado, caracterizado pelas quatro estações do ano bem definidas. Ocorrem principalmente na Europa e na América do Norte.

A vegetação desse bioma é muito diversificada, composta de faias, bordos, carvalhos e bétulas, dentre outras plantas.

As árvores que constituem a floresta temperada perdem as folhas no inverno, isto é, suas folhas são decíduas. Por essa razão esse bioma é também chamado floresta decídua temperada ou floresta caducifolia.

O solo dessas florestas é profundo, rico em matéria orgânica.

Sua fauna é muito diversificada, compreendendo javalis, esquilos, leões-da-montanha, dentre outros.

Floresta tropical

A floresta tropical ocorre ao norte e ao sul da linha do equador, ocupando grande parte das Américas Central e do Sul e algumas áreas da África, da

Ásia e da Austrália, além de ocorrer em várias ilhas da região equatorial. Essas regiões são caracterizadas por altos índices de precipitação e por temperaturas elevadas, que oscilam normalmente entre 21 e 32 °C.

Esse bioma apresenta vegetação abundante, de crescimento rápido e “sempre verde”, ou seja, as árvores nunca perdem suas folhas de uma só vez em uma estação específica.

As folhas das árvores são geralmente grandes, com extremidade afilada em goteira e superfície lisa, o que facilita o escoamento da água. Nos troncos e ramos normalmente existem muitos líquens e diversas espécies de trepadeiras e epífitas, como orquídeas, samambaias e bromélias.

A matéria orgânica que atinge o solo é logo degradada, pois as altas temperaturas e a umidade aceleram os processos de decomposição. Como os minerais liberados são rapidamente aproveitados pela densa vegetação, o solo nessas florestas é muito pobre.

A fauna é rica, apresentando grande diversidade de mamíferos arborícolas (macacos e preguiças, por exemplo) e de mamíferos terrícolas (cotias, capivaras, onças, antas e outros). Além dos mamíferos, há grande diversidade de aves, répteis, anfíbios e invertebrados.

Campos

Os campos são formações abertas, encontradas tanto em regiões tropicais como em regiões temperadas, onde a pluviosidade é geralmente baixa.

A vegetação é composta basicamente de plantas herbáceas e árvores de pequeno porte.

Os campos podem ser classificados em:

- **estepes:** campos onde predominam gramíneas. Ocorrem em regiões sujeitas a períodos de seca. As pradarias da América do Norte e os pampas da Argentina, do Uruguai e do sul do Brasil são exemplos de estepes;
- **savanas:** campos onde há, além das gramíneas, arbustos e árvores. Ocorrem principalmente nas Américas do Norte e do Sul, na Ásia, na África e na Austrália. Os campos cerrados, que cobrem cerca de 25% do território brasileiro, são exemplos de savana.

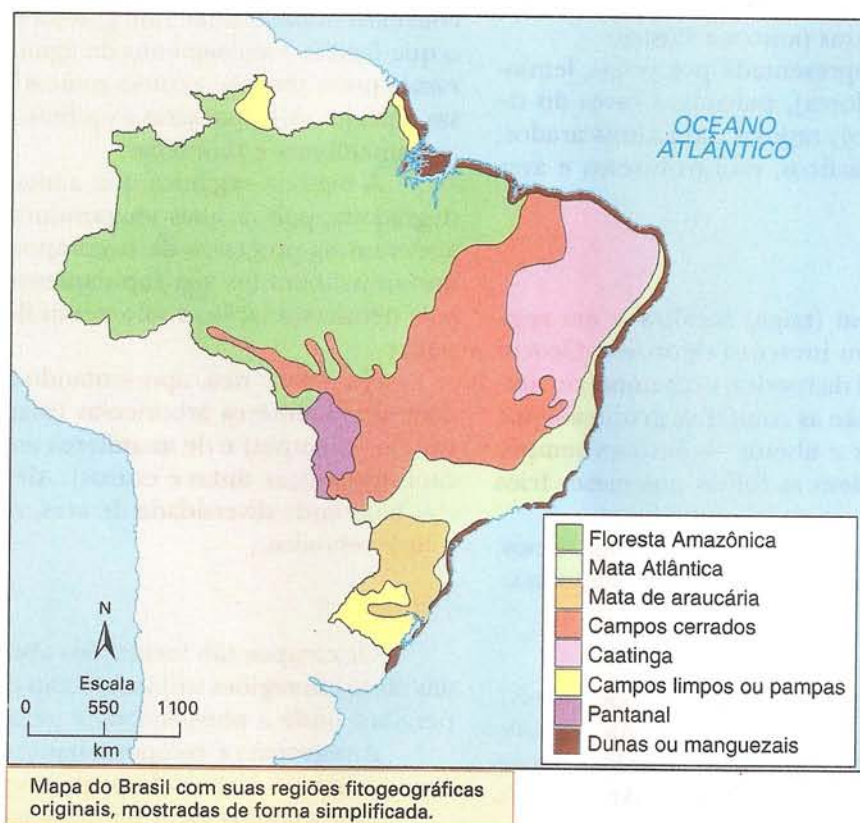
Desertos

Os desertos encontram-se ao redor das latitudes 30° Norte ou Sul, em regiões de baixa pluviosidade e baixa umidade do ar. Durante o dia, as temperaturas são altas, enquanto as noites muitas vezes são extremamente frias.

Ocorrem principalmente na África (deserto do Saara), na Austrália, nos Estados Unidos, no Chile, na Bolívia e no Brasil, onde o tipo de deserto é a **caatinga**, que ocupa cerca de 10% do território brasileiro.

A vegetação do deserto é pouco abundante e muito esparsa. É composta basicamente de gramíneas e plantas arbustivas, como os cactos, que apresentam uma série de adaptações ao ambiente de seca (**xeromorfismo**): caules que armazenam água e folhas transformadas em espinhos, o que diminui a área de transpiração.

3. Fitogeografia do Brasil



3.1. Floresta Amazônica

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo. Sua maior parte localiza-se no território brasileiro, do qual cobre cerca de 40%. No Brasil a floresta Amazônica distribui-se por nove estados: Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão.

A diversidade biológica dessa floresta é imensa. Dentre as plantas podemos citar o cupuaçu, o guaraná, a seringueira (de onde se extrai o látex para a fabricação de borracha), palmeiras como o açaí, o tucumã e o inajá, espécies de grande porte como a castanheira, a sumaúma (conhecida como “o gigante da Amazônia”) e o angelim. Esse bioma abriga também inúmeras espécies de plantas medicinais, graças às quais já foram feitas descobertas importantes para

a Medicina, como é o caso do curare (um potente anestésico) e do quinino (bom remédio contra a malária).

Como os estoques de madeira do sul do país estão se esgotando, nos últimos anos a extração de mogno e cerejeira na floresta Amazônica aumentou muito, o que tem levado à drástica redução da população dessas plantas.

Além desse grande número de espécies de plantas, na Amazônia está também a maior diversidade de espécies animais: preguiça-real, macaco-aranha (ou quatá), macaco-prego, guariba (ou bugio), araçari (tucano), arara-vermelha, arara-canindé, jacaretinga, jacaré-coroa, jacaré-açu, muitas espécies de peixes como o pirarucu, o aruanã, o surubim e o poraquê (peixe-elétrico), muitas espécies de insetos e de outros animais.

Floresta Amazônica: uma comunidade clímax. Se desmatada, haveria uma sucessão secundária?

A Amazônia, que é a maior floresta tropical do mundo e tem sua maior porção em território brasileiro, apresenta-se como um ecossistema extremamente complexo e delicado.

Sua incrível diversidade biológica, abrigando cerca de 20% de todas as espécies vivas do planeta, confere-lhe uma infinidade de inter-relações ecológicas.

Todos os elementos — clima, solo, fauna e flora — estão tão estreitamente relacionados que não se pode considerar nenhum deles como principal. Todos contribuem para a manutenção do equilíbrio, de modo que a ausência de qualquer um deles é suficiente para desarranjar o ecossistema.

O que acontece, então, quando se cortam as árvores, arrancam-se ou queimam-se os troncos?

Cortada a vegetação nativa, a fina camada de húmus pode garantir o renascimento rápido de uma vegetação natural de novo porte, formada por embaúbas e arbustos; o crescimento de pastos ou mesmo plantações de milho, cana-de-açúcar e outros vegetais pode ocorrer. Entretanto, essa camada de húmus provavelmente se esgotará em dois ou três anos, pois não haverá reposição de detritos orgânicos. Além disso, retirando-se a densa cobertura vegetal, as chuvas quase contínuas da Amazônia atingirão diretamente os solos, “lavando” seus nutrientes e desagregando os sedimentos, que serão transportados em forma de areia para depressões e rios, entulhando-os.

Pouco a pouco, o solo se tornará nu e cada vez mais arenoso. Não haverá uma sucessão secundária levando ao restabelecimento da mesma comunidade clímax anterior. Dificilmente a região se transformaria em um deserto total, pois os ventos alísios oriundos do oceano são capazes de garantir a umidade necessária para algumas formas de vegetação. Mas, de qualquer maneira, o ecossistema estaria destruído.

Talvez a melhor maneira de colonizar a Amazônia seja exatamente cultivar pequenas áreas como se fossem ilhas de ocupação, em meio ao imenso oceano verde. Não se deve fazer o contrário: ocupar, derrubar e utilizar toda a floresta, deixando apenas um certo número de reservas naturais, como testemunho do que fora o ecossistema primitivo.

3.2. Mata Atlântica

A mata Atlântica também é uma floresta tropical, estendendo-se desde o Rio Grande do Norte até o sul em montanhas e planícies litorâneas. Atualmente, encontra-se muito devastada em virtude da grande ocupação humana.

Nessa mata há grande diversidade de plantas, dentre as quais o pau-brasil, o jacarandá, o jambo e o jatobá.

A fauna é diversificada, incluindo vários mamíferos ameaçados de extinção, como o mico-leão-dourado, a onça-pintada e o monarca (o maior macaco das Américas). Dentre as aves ameaçadas de extinção destacam-se a araponga (também conhecida como “voz da mata Atlântica”), a jacutinga, o jacu e o macuco.

3.3. Mata de araucária

A mata de araucária ocorre na região Sul do Brasil, principalmente no Paraná e em Santa Catarina, estendendo-se até São Paulo e Rio Grande do Sul. Nessas regiões predominam o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e o pinheiro do gênero *Podocarpus*.

A madeira do pinheiro-do-paraná tem grande importância econômica e por isso a espécie tem sido intensamente explorada, o que vem provocando drásticas reduções da mata: hoje corresponde a menos de 2% do que foi originalmente.

A gralha-azul e a gralha-picaça são aves típicas dessa região.

3.4. Caatinga

A caatinga ocorre na região Nordeste, em locais onde as chuvas são irregulares, as secas são prolongadas e as temperaturas, elevadas.

A palavra caatinga tem sua origem na língua tupi e significa mata branca (*caa* = mata; *tinga* = branca), nome sugerido pelo aspecto esbranquiçado dos galhos das árvores que perdem suas folhas na época da seca, fato que constitui um mecanismo de proteção contra a perda de água.

Outro mecanismo de proteção contra a perda de água é a redução das folhas a espinhos, o que se observa em certas plantas da caatinga, especialmente nas cactáceas, como o xique-xique, por exemplo.

A fauna da caatinga inclui animais como o corupa, a cascavel, o gavião-carcará e a ararinha-azul, ave muito ameaçada de extinção.

3.5. Campos cerrados

Os campos cerrados ocorrem na região Centro-Oeste, principalmente nos estados de Tocantins, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Minas Gerais, e também em pequenas extensões do Amazonas, São Paulo, Paraná, Paraíba e Pernambuco.

O clima no cerrado é quente, com estação seca rigorosa, embora chova em certas épocas do ano.

Apesar da pouca chuva, mesmo nas estações secas o solo contém quantidade razoável de água a partir de 2 m de profundidade. Assim, as raízes de muitas plantas aprofundam-se até atingir o lençol freático subterrâneo, retirando a água necessária para sua sobrevivência.

Os solos dos cerrados são considerados úteis para a agricultura, desde que fertilizados e corrigidos em sua acidez pela adição de calcário.

Algumas das principais plantas encontradas no cerrado são: araçá, murici, gabioba, pau-terra, indaiá (palmeira de caule subterrâneo que em certos locais domina a paisagem, formando os campos de indaiás) e capim-flecha (chega a atingir 2,5 m de altura e pega fogo com facilidade).

A fauna é muito rica, incluindo a ema — a maior ave das Américas. Dentre os mamíferos, podemos citar: lobo-guará, onça-pintada, anta, tamanduá, tatu e veado-campeiro, dentre outros.

Um importante fator ecológico do cerrado é o fogo, causado por diversos fatores, como raios. As plantas possuem adaptação para enfrentar o fogo, como por exemplo cascas espessas ou caules subterrâneos.

3.6. Pampas

Os pampas, ou campos limpos, ocorrem no Rio Grande do Sul e apresentam vegetação herbácea, propícia à criação de gado, atividade muito comum na região.

3.7. Pantanal

O Pantanal abrange os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, estendendo-se pela Bolívia e pelo Paraguai. É uma região plana, onde os rios da bacia do rio Paraguai extravasam suas águas nos meses de cheia, inundando extensas áreas.

Mesmo nos meses mais secos, muitas regiões ainda permanecem alagadas, formando pequenas lagoas entremeadas por terras firmes. Nesses locais há plantas típicas de brejos, e em locais com inundações raras pode-se encontrar uma vegetação típica de cerrado, de campo e de floresta.

O Pantanal apresenta fauna muito rica, embora o número de espécies seja inferior ao registrado na Amazônia. No entanto, o número de indivíduos de cada espécie é muito maior no Pantanal. No caso das aves, estima-se que o Pantanal reúna a maior concentração do continente, observando-se com frequência árvores inteiras completamente ocupadas por grupos de garças, patos-selvagens, jaburus ou tuiuiús (ave símbolo da região). Outros representantes da fauna pantaneira são dourado, cachara, piranha, jacaré-do-papo-amarelo, sucuri, arara-azul, cervo-do-pantanal e onça-pintada.

A flora do Pantanal está representada pelo carandá, buriti e manduvi, dentre outras espécies.

3.8. Manguezais

Os manguezais desenvolvem-se na região litorânea onde os rios desembocam no mar, desde o Amapá até Santa Catarina. São ecossistemas extremamente importantes, pois constituem locais usados por grande número de animais marinhos para a reprodução, além de participarem de modo fundamental na produtividade das regiões costeiras.

4. As principais regiões faunísticas da Terra

Por meio da **Zoogeografia**, ciência que estuda a distribuição dos animais na Terra, foi possível identificar seis regiões zoogeográficas, com base em espécies animais características. Inicialmente essas regiões foram definidas em função da distribuição dos mamíferos. Entretanto, verificou-se, posteriormente, que as divisões estabelecidas são válidas para outros grupos de animais e para as plantas.

As regiões zoogeográficas são: Paleártica, Etiópica, Oriental, Australiana, Neártica e Neotropical. Essas

regiões e seus animais mais característicos estão representados no mapa a seguir:



Esquema das regiões zoogeográficas e de alguns dos animais que ocorrem em cada uma delas. (Elementos representados fora de proporção.)

QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Explique o que é sucessão ecológica, comunidade clímax e comunidade ou estágio seral.
2. Diga quais são os tipos de sucessão e exemplifique-os.
3. Defina espécie pioneira.
4. Conceitue:
 - a) plâncton;
 - b) fitoplâncton;
 - c) zooplâncton;
 - d) nécton;
 - e) bentos.
5. Explique o que são fontes termais submarinas e diga o que sua descoberta revelou sobre as comunidades abissais.
6. Diferencie ecossistemas lênticos de ecossistemas lóticos.
7. Explique o que são biomas e relacione os principais biomas terrestres do mundo e do Brasil.
8. Qual o tipo de bioma terrestre na região em que você mora? Caracterize-o.
9. Verifique se em sua região há exemplos de sucessão secundária. Cite-os e diferencie sucessão secundária de primária.
10. Em alto-mar, a concentração de nutrientes minerais é baixa, uma vez que grande parte deles encontra-se no fundo. Assim, há menor número de organismos em alto-mar do que em regiões próximas à costa. Em certos locais, como no Peru e no litoral de Cabo Frio (no Rio de Janeiro), existem correntes, chamadas correntes de ressurgência, que trazem do fundo para a superfície parte dos nutrientes minerais ali acumulados. As águas superficiais ficam, então, enriquecidas. Quais são as consequências desse enriquecimento de nutrientes para as cadeias alimentares? Estabeleça uma cadeia alimentar marinha com três níveis tróficos.
11. Em que tipo de bioma terrestre se esperaria encontrar maior número de níveis tróficos nas cadeias alimentares? Explique sua resposta.

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Brasil: quinhentos anos de desmatamento

Os 500 anos do Brasil na área ambiental foram marcados pela destruição. A área desmatada dos três maiores biomas — floresta Amazônica, mata Atlântica e cerrado — totaliza 2,7 milhões de km², ou 31,7% do território nacional e 62 vezes a superfície do estado do Rio de Janeiro.

A principal vítima do desmatamento foi a mata Atlântica. Do período colonial até hoje perdeu 93% de suas florestas, que originalmente cobriam 1,3 milhão de km² ao longo do litoral. Em áreas como as florestas de araucária, no Sul do país, há apenas 2% da cobertura original. O cerrado perdeu 50% ou 1 milhão de km² da cobertura original desde o início de sua ocupação, na década de 1950. Já a Amazônia, nos últimos 25 anos, teve destruídos cerca de 15% da floresta ou 551 000 km².

O nível de destruição ambiental a que chegamos nos primeiros cinco séculos de história do Brasil é alarmante, e as próximas gerações estarão condenadas a um futuro sombrio, se não aprendermos a valorizar e usar de forma racional os recursos naturais.

Os ciclos econômicos do Brasil Colônia são exemplos da exploração predatória dos recursos naturais. Grandes extensões de mata Atlântica foram destruídas para abrir espaço para os canaviais. Calcula-se que para cada quilograma de açúcar produzido se queimaram cerca de 15 quilogramas de lenha.

A atividade econômica do século XVIII foi dominada de forma predatória pela mineração do ouro e dos diamantes. Encostas foram desmatadas, rios foram dragados e tiveram o curso desviado. Pelo menos 100 toneladas de mercúrio foram utilizadas na extração do ouro em Minas Gerais.

No século XIX o ciclo do café também destruiu o meio ambiente. O plantio, originalmente feito em áreas de sombra, foi feito no Brasil em áreas desmatadas da mata Atlântica. Para cada hectare que se pretendia abrir para a lavoura, destruíam-se de 5 a 10 hectares pelo fogo descontrolado.

Já no século XX começaram a ser destruídos o cerrado e a floresta Amazônica.

Desde os anos 1950 o mercúrio vem sendo usado nos garimpos, a fronteira agrícola continua em expansão, ocorrem 30 mil focos de queimadas por mês no país durante a época da seca e os desmatamentos nas encostas provocam erosão e enchentes.

Apesar da destruição ao longo destes cinco séculos, o Brasil ainda possui 10% das florestas do mundo, 13% de toda a água doce e cerca de 20% de todas as espécies.

Adaptado de: *Jornal do Brasil*, 18 abr. 2000.

- Pondere sobre a seguinte questão levantada no texto: apesar da destruição, o Brasil ainda é um país rico em florestas, água doce e biodiversidade. Poderíamos, por isso, continuar a usar nossos recursos e abusar deles como se fossem inesgotáveis? Por quê?



TESTES

1. (UFSCar-SP) A substituição ordenada e gradual de uma comunidade por outra, até que se chegue a uma comunidade estável, é chamada sucessão ecológica. Nesse processo, pode-se dizer que o que ocorre é:

- a) a constância de biomassa e de espécies.
- b) a redução de biomassa e maior diversificação de espécies.
- c) a redução de biomassa e menor diversificação de espécies.
- d) o aumento de biomassa e menor diversificação de espécies.
- e) o aumento de biomassa e maior diversificação de espécies.

2. (UFV-MG) Associe as colunas de maneira que as características correspondam aos respectivos biomas.

	Características
I	Folhas reduzidas ou modificadas em espinhos
II	Casca grossa e galhos retorcidos
III	Raízes escoras e respiratórias
IV	Raízes tabulares e folhas largas

	Biomas
A	Cerrado
B	Manguezal
C	Mata Atlântica
D	Caatinga

A sequência **correta** é:

- a) IA; IIC; IIID; IVB.
- b) ID; IIA; IIIB; IVC.
- c) IB; IID; IIIA; IVC.
- d) IB; IIA; IIIC; IVD.
- e) ID; IIA; IIIC; IVB.

3. (ENEM) "Apesar da riqueza das florestas tropicais, elas estão geralmente baseadas em solos inférteis e improdutivos. Grande parte dos nutrientes é armazenada nas folhas que caem sobre o solo, não no solo propriamente dito. Quando esse ambiente é intensamente modificado pelo ser humano, a vegetação desaparece, o ciclo dos nutrientes é alterado e a terra se torna rapidamente infértil."

No texto anterior, pode parecer uma contradição a existência de florestas tropicais exuberantes sobre solos pobres. No entanto, este fato é explicado pela:

- profundidade do solo, pois, embora pobre, sua espessura garante a disponibilidade de nutrientes para a sustentação dos vegetais da região.
- boa iluminação das regiões tropicais, uma vez que a duração regular do dia e da noite garante os ciclos dos nutrientes nas folhas dos vegetais da região.
- existência de grande diversidade animal, com número expressivo de populações que, com seus dejetos, fertilizam o solo.
- capacidade de produção abundante de oxigênio pelas plantas das florestas tropicais, consideradas os "pulmões" do mundo.
- rápida reciclagem dos nutrientes, potencializada pelo calor e umidade das florestas tropicais, o que favorece a vida dos decompositores.

4. (ENEM) Alunos de uma escola no Rio de Janeiro são convidados a participar de uma excursão ao Parque Nacional de Jurubatiba. Antes do passeio, eles lêem o trecho de uma reportagem publicada em uma revista:

"Jurubatiba será o primeiro parque nacional em área de restinga, num braço de areia com 31 quilômetros de extensão, formado entre o mar e dezoito lagoas. Numa área de 14 000 hectares, ali vivem jacarés, capivaras, lontras, tamanduás-mirins, além de milhares de aves e de peixes de água doce e salgada. Os peixes de água salgada, na época das cheias, passam para as lagoas, onde encontram abrigo, voltando ao mar na cheia seguinte. Nos terrenos mais baixos, próximos aos lençóis freáticos, as plantas têm água suficiente para agüentar longas secas. Já nas áreas planas, os cactos são um dos poucos vegetais que proliferam, pintando o areal com um verde pálido."

Depois de ler o texto, os alunos podem supor que, em Jurubatiba, os vegetais que sobrevivem nas áreas planas têm características tais como:

- quantidade considerável de folhas, para aumentar a área de contato com a umidade do ar nos dias chuvosos.
- redução na velocidade da fotossíntese e realização ininterrupta desse processo, durante as 24 horas.
- caules e folhas cobertos por espessas cutículas que impedem o ressecamento e a conseqüente perda de água.
- redução do calibre dos vasos que conduzem a água e os sais minerais da raiz aos centros produtores do vegetal, para evitar perdas.
- crescimento sob a copa de árvores frondosas, que impede o ressecamento e conseqüente perda de água.

5. (UFMS) Analise as afirmativas e indique a(s) proposição(ões) correta(s).

- No decorrer de uma sucessão ecológica, o número de espécies aumenta nos diferentes estágios de acordo com a disponibilidade dos nichos ecológicos.
- Na sucessão de um campo de cultivo abandonado, em uma região onde havia anteriormente uma floresta, pre-

vêm-se os seguintes passos de recomposição: campo → arbustos → mata intermediária → mata do tipo original.

- A composição das espécies tende a manter-se constante ao longo da sucessão ecológica.
- Nos estágios iniciais de uma sucessão, podemos observar que a atividade autotrófica é maior que a heterotrófica, assim, a produção bruta (P) é menor que a respiração (R) e a relação P e R é menor do que 1.
- A sucessão ecológica é um processo direcional e previsível.

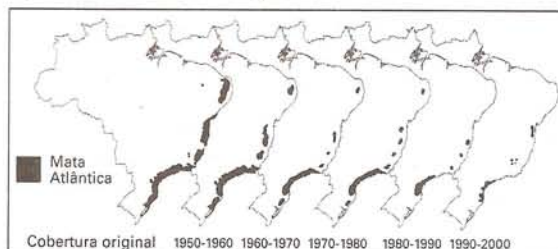
Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

6. (UFF-RJ) A fotossíntese é o processo biológico predominante para a produção do oxigênio encontrado na atmosfera. Aproximadamente, 30% do nosso planeta é constituído por terra, onde se encontram grandes florestas, e 70% por água, onde vive o fitoplâncton.

Considerando-se estas informações e o ciclo biogeoquímico do oxigênio, pode-se afirmar que:

- as florestas temperadas e a Floresta Amazônica produzem a maior parte do oxigênio da Terra.
- a Floresta Amazônica é a principal responsável pelo fornecimento de oxigênio da Terra.
- as algas microscópicas são as principais fornecedoras de oxigênio do planeta.
- a Mata Atlântica é a maior fonte de oxigênio do Brasil.
- os manguezais produzem a maior parte do oxigênio da atmosfera.

7. (ENEM) A Mata Atlântica, que originalmente se estendia por todo o litoral brasileiro, do Ceará ao Rio Grande do Sul, ostenta hoje o triste título de uma das florestas mais devastadas do mundo. Com mais de 1 milhão de quilômetros quadrados, hoje restam apenas 5% da vegetação original, como mostram as figuras.



Adaptado de: *Atlas Nacional do Brasil*, IBGE, 1992/
<http://www.sosmatalantica.org.br>

Considerando as características histórico-geográficas do Brasil e a partir da análise das figuras é correto afirmar que:

- as transformações climáticas, especialmente na região Nordeste, interferiram fortemente na diminuição dessa floresta úmida.
- nas três últimas décadas, o grau de desenvolvimento regional impediu que a devastação da Mata Atlântica fosse maior do que a registrada.

- c) as atividades agrícolas, aliadas ao extrativismo vegetal, têm se constituído, desde o período colonial, na principal causa da devastação da Mata Atlântica.
- d) a taxa de devastação dessa floresta tem seguido o sentido oposto ao do crescimento populacional de cada uma das regiões afetadas.
- e) o crescimento industrial, na década de 1950, foi o principal fator de redução da cobertura vegetal na faixa litorânea do Brasil, especialmente da região Nordeste.
- 8.** (Unifor-CE) A disponibilidade de água é um dos fatores ecológicos mais importantes para a vegetação. A frequência de adaptações à falta de água **DECRESCER** na seguinte seqüência:
- a) cerrados, manguezais e caatingas.
 - b) caatingas, cerrados e matas amazônicas.
 - c) cerrados, caatingas e matas amazônicas.
 - d) caatingas, matas de Araucária e cerrados.
 - e) manguezais, Mata Atlântica e caatingas.



QUESTÕES DISCURSIVAS

- 1.** (Fuvest-SP) Considere dois estágios, **X** e **Y**, de um processo de sucessão ecológica. No estágio **X** há maior biomassa e maior variedade de nichos ecológicos. No estágio **Y** há maior concentração de espécies pioneiras e a comunidade está sujeita a variações mais intensas.
- a) Qual dos dois estágios representa uma comunidade clímax?
 - b) Em qual dos estágios há maior biodiversidade? Justifique sua resposta.
 - c) Descreva o balanço entre a incorporação e a liberação de carbono nos estágios **X** e **Y**.
- 2.** (Unicamp-SP) A poluição atmosférica de Cubatão continua provocando efeitos negativos na vegetação da Serra do Mar, mesmo após a instalação de filtros nas indústrias na década de 1980. Nos locais onde houve destruição total, a mata está se recompondo, mas com uma vegetação diferente da mata atlântica original.
- a) Considerando que a mata está se recompondo através de um processo natural de sucessão secundária, quais são as etapas esperadas neste processo?
 - b) Cite duas características típicas da mata atlântica.
- 3.** (UFV-MG) Com relação à sucessão ecológica:
- a) Diferencie sucessão primária de secundária.
 - b) Por que ocorre um aumento da estabilidade das comunidades durante a sucessão?
 - c) Defina comunidade clímax.
- 4.** (Unesp-SP) Uma ilha situada a 20 km de distância do continente, após a explosão de um vulcão, foi coberta por uma camada espessa de cinza quente e nenhuma planta ou animal sobreviveu. Alguns anos após, observou-se a presença de líquens seguidos de outras plantas. Posteriormente foi possível verificar também a presença de pequenos animais e, tempos mais tarde, a presença de animais de maior porte. Após várias décadas a ilha estava coberta por uma floresta jovem, mas densa.
- Pergunta-se:
- a) Como se chama o fenômeno ecológico ocorrido na ilha, a partir da erupção vulcânica?
 - b) Por que, no processo de reorganização das comunidades na ilha, os organismos heterótrofos não poderiam ter sido os pioneiros?
- 5.** (UFV-MG) "As formas de vida encontradas a grandes profundidades no ecossistema marinho são necessariamente heterotróficas."
- Responda: a afirmativa acima está correta? Justifique sua resposta.



Quebra do equilíbrio ambiental

1. Introdução

Em qualquer ecossistema, todos os componentes, vivos ou não-vivos, mantêm total equilíbrio entre si, podendo-se falar em **sinergia ambiental**. O termo sinergia pode ser aplicado ao processo coordenado e integrado de vários fatores na realização de uma função. Alterações no meio podem implicar desequilíbrio no ecossistema e determinar modificações, ocorrendo quebra da sinergia ambiental.

Tanto um organismo como um ecossistema em seu todo têm o poder de se adaptar a pequenas

alterações, restabelecendo o equilíbrio. No entanto, modificações bruscas ou violentas normalmente não são compensadas em prazos razoáveis, impondo quebra duradoura do equilíbrio, com reflexos danosos para a saúde do organismo e de todo o ecossistema.

Por motivos didáticos, analisaremos separadamente as alterações bióticas e as abióticas responsáveis pela quebra do equilíbrio ambiental, mas é importante lembrar que nos ecossistemas há interação entre os fatores bióticos e os abióticos.

2. Alterações bióticas

As principais alterações bióticas que podem provocar desequilíbrio em um ecossistema são representadas pela **introdução de espécies** ou pela **eliminação de espécies**.

2.1. Introdução de espécies

A natureza, quando em equilíbrio, impõe resistência às populações, de forma que há um controle das densidades populacionais. Dentre os fatores de controle pode-se mencionar competição, predação, parasitismo, restrição de alimento e diminuição de território para reprodução.

Quando introduzimos em um ambiente uma espécie de outro ecossistema ou bioma, essa resis-

tência da natureza pode acabar não ocorrendo, seja por não haver predadores dessa espécie no novo ambiente ou por haver grande oferta de território para reprodução, de alimento farto ou de outros fatores. Isso faz com que a espécie introduzida aumente sua população e provoque desequilíbrios ecológicos.

Existem vários casos de introdução de espécies no Brasil e no mundo, com consequências danosas ao meio.

No Brasil, dentre vários exemplos recentes, há o do molusco conhecido por gigante-africano ou *escargot-africano* (*Achatina fulica*), já comentado no capítulo 22, e o do mexilhão dourado, abordado no texto a seguir.

Mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) – espécie introduzida por água de lastro no Brasil

O mais recente caso de invasão de espécies exóticas com sucesso no Brasil é o do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*). Esse pequeno bivalve de água doce tem cerca de 4 cm de comprimento e é originário do sul da Ásia. Em 1991 foi feito o primeiro registro da espécie na América do Sul, que deve ter chegado na água de lastro de navios. Estabeleceu-se no rio da Prata, na região de Buenos Aires, Argentina. No Brasil, o primeiro registro ocorreu em 1999, na praia de Itapuã e em Porto das Pombas, situados no município de Viamão (RS), ao sul do lago Guaíba.

Por se incrustar em tubulações, *L. fortunei* já está causando problemas nos equipamentos da Estação de Tratamento de Águas de Ponta Lara, no rio da Prata, reduzindo a eficiência das bombas e alterando o funcionamento normal do sistema, entre outros problemas. Em 2001, o mesmo mexilhão foi detectado em três unidades da usina hidrelétrica de Itaipu (PR), o que confirma que *L. fortunei* já invadiu o Brasil e está se estabelecendo com sucesso.

É impossível prever que impacto terá a introdução de uma espécie não-nativa. Mesmo uma espécie que não mostre impacto negativo em sua área de origem pode fazer efeitos dramáticos quando invade novos ambientes. No Brasil, o crescimento da população do mexilhão-dourado é intenso, chegando a colonizar cerca de 240 quilômetros por ano. Nas estações de captação de água no rio Guaíba, em Porto Alegre (RS), esses bivalves ocorrem incrustados nas tubulações, chegando a tomar até 100 metros de canos, prejudicando a vazão da água. O problema tem sido contornado, em parte, por mergulhadores que de dois em dois meses fazem a limpeza desses canos, removendo esses animais.

Adaptado de artigos publicados em: *Ciência Hoje*, vol. 32, nº 188, nov. 2002, e *O Estado de S. Paulo*, 19/03/2004.

2.2. Extinção de espécies

As espécies podem extinguir-se por processos naturais ou em decorrência da atividade humana, tanto por meio de modificações artificiais impostas ao ambiente como pela ação predatória descontrolada e irresponsável.

A extinção natural sempre ocorreu e continuará ocorrendo, já que é resultado das constantes modificações dos ecossistemas e da seleção adaptativa. Provas evidentes da existência no passado de formas vivas atualmente inexistentes são os fósseis.

Quanto à ação humana no sentido de contribuir para a extinção de espécies, merece ênfase a caçada indiscriminada e criminosa de diversos animais, principalmente daqueles que já encontram grande resistência do meio e apresentam eventualmente baixo potencial biótico. A baleia é um exemplo de animal que vive diante destas duas dificulda-

des, às quais teve de somar a caça impiedosa imposta pelo ser humano com intenção de lucro.

A ação educativa faz-se necessária aliada à ação fiscalizadora e punitiva. Não se pode permitir que o número de representantes de uma espécie atinja seu limiar, abaixo do qual não há mais poder de recuperação, e a espécie se extinga. Naturalmente esse número mínimo de representantes varia de uma espécie para outra, pois depende de diferentes fatores, sempre relacionados com a resistência do meio e o potencial biótico.

As principais medidas legais de ordem geral que visam à proteção dos animais proíbem sua captura, pesca ou caça em época de reprodução, sua exportação e, em alguns casos, a caça em qualquer época.

Exemplo típico em relação à época de reprodução é a proibição legal da pesca durante a piracema, período em que os peixes sobem os rios para se reproduzir.

3. Alterações abióticas

Toda e qualquer alteração ocorrida no ambiente, que provoque desequilíbrio e prejudique a vida, é considerada **poluição ambiental**.

A poluição ambiental pode ser causada tanto pela liberação de energia quanto pela liberação de matéria no ambiente.

3.1. Poluição sonora

A poluição gerada pela liberação de energia, como luz, calor e som, é particularmente grave para o ser humano e geralmente observada nas grandes cidades. Afeta principalmente a saúde mental, pois causa irritação, nervosismo, fadiga e outros sintomas relacionados com o sistema nervoso e com os órgãos dos sentidos.

O barulho ou o alto volume de aparelhos de som ou outros aparelhos produz o que chamamos **poluição sonora**. A curto e a médio prazo esse tipo de poluição provoca irritação nas pessoas, determinando alterações de comportamento; a longo prazo provoca diminuição da audição e até surdez. Por esse motivo danceterias norte-americanas, por exemplo, estão sendo obrigadas a afixar o seguinte aviso: "Aqui você está sujeito a surdez".

A poluição sonora é um importante fator de desarmonia nas grandes cidades, onde o constante barulho de carros, máquinas, buzinas gera perturbação comportamental e auditiva nas pessoas.

Em certas fábricas o problema da poluição sonora é tão grave que os funcionários precisam usar protetores auditivos para operar determinadas má-

quinas barulhentas. Se não se protegerem, podem ficar surdos em curto espaço de tempo.

3.2. Poluição térmica

O aumento da temperatura do ar ou da água, provocando alteração no meio, é denominado **poluição térmica**. Em certos lagos e mares o aumento da temperatura deve-se principalmente à ação de usinas elétricas e atômicas, pelo uso de sistemas de resfriamento dos reatores durante a geração de eletricidade.

Os efeitos mais graves da poluição térmica são sentidos na água. A elevação da temperatura propicia o desenvolvimento de fungos e bactérias, muitos dos quais causam doenças em peixes e em outros organismos, aumentando a taxa de mortalidade.

Outro importante efeito do aumento da temperatura é a diminuição do teor de O_2 dissolvido na água (quanto mais quente, mais o O_2 é perdido para o ar). Com isso, os organismos que dependem do O_2 para sua respiração não conseguem sobreviver.

3.3. Poluição do ar

A poluição do ar pode ser causada pelo aumento do gás carbônico, como já comentamos ao falarmos do efeito estufa, pela introdução de partículas que ficam em suspensão no ar e pela introdução de gases poluentes tais como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e hidrocarbonetos, liberados por diversos agentes poluidores.

Um dos principais agentes poluidores da atmosfera é o automóvel. Seu motor a explosão libera monóxido de carbono (CO) quando a combustão da gasolina é incompleta, pois a combustão completa produz dióxido de carbono (CO_2).

O monóxido de carbono é um gás extremamente perigoso, inodoro, que se mistura ao ar e acaba sendo inspirado também. Então passa para o sangue e associa-se à hemoglobina, formando um composto relativamente estável: a carboxiemoglobina. A hemoglobina, ocupada pelo monóxido de carbono, não pode transportar oxigênio, causando um tipo de asfixia que pode comprometer a vida. É sempre necessário extremo cuidado com os gases liberados por veículos parados com o motor em funcionamento em garagens, túneis e outros lugares com ventilação limitada.

Os motores a explosão não são os únicos agentes poluidores da atmosfera. Indústrias siderúrgicas

e as queimadas de florestas são também importantes fontes de poluentes.

As combustões incompletas de alguns combustíveis podem produzir, além do monóxido de carbono, alguns hidrocarbonetos gasosos e óxidos de nitrogênio. Estes dois subprodutos combinam-se na atmosfera em presença de luz solar, produzindo outras substâncias mais tóxicas: o ozônio (O_3) e o nitrato peroxiacetílico (PAN). Essas duas substâncias provocam nos humanos desconforto respiratório e irritação nos olhos seguida de lacrimejamento.

O excesso de O_3 determina aumento na taxa respiratória das plantas, que acabam morrendo por consumir desnecessariamente a glicose armazenada. Para piorar a situação, o PAN inibe a fotossíntese, causando a morte da planta, uma vez que ela não pode mais sintetizar seus alimentos. Certas variedades de plantas são muito sensíveis a esses fatores, e seu cultivo não tem sido mais possível em áreas próximas a grandes cidades.

Além da gasolina, a queima de outro derivado do petróleo, o óleo *diesel*, e a queima do carvão mineral pelas indústrias também liberam produtos tóxicos na atmosfera. É o caso do dióxido de enxofre (SO_2) e do dióxido de nitrogênio (NO_2), gases que causam distúrbios respiratórios no ser humano, como bronquite e asma. Esses gases reagem com o vapor de água da atmosfera, originando, respectivamente, ácido sulfúrico e ácido nítrico, que caem sobre a terra formando a chamada **chuva ácida**. Além de destruir monumentos, mármore, grades metálicas e carrocerias de carros, essa chuva provoca acidentes ecológicos mais graves: destrói a vegetação e contamina o solo e a água. O aumento da acidez da água de certos lagos, por exemplo, tem causado grande mortalidade de peixes.

Simon Fraser/SPL



Fotografia de árvores mortas pela chuva ácida.



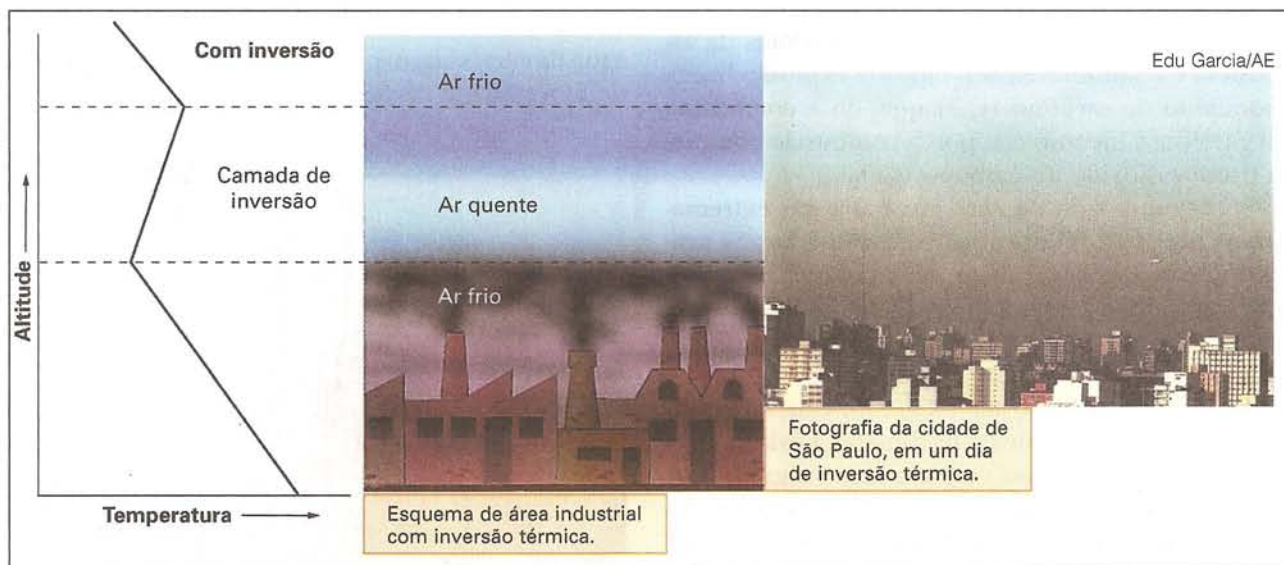
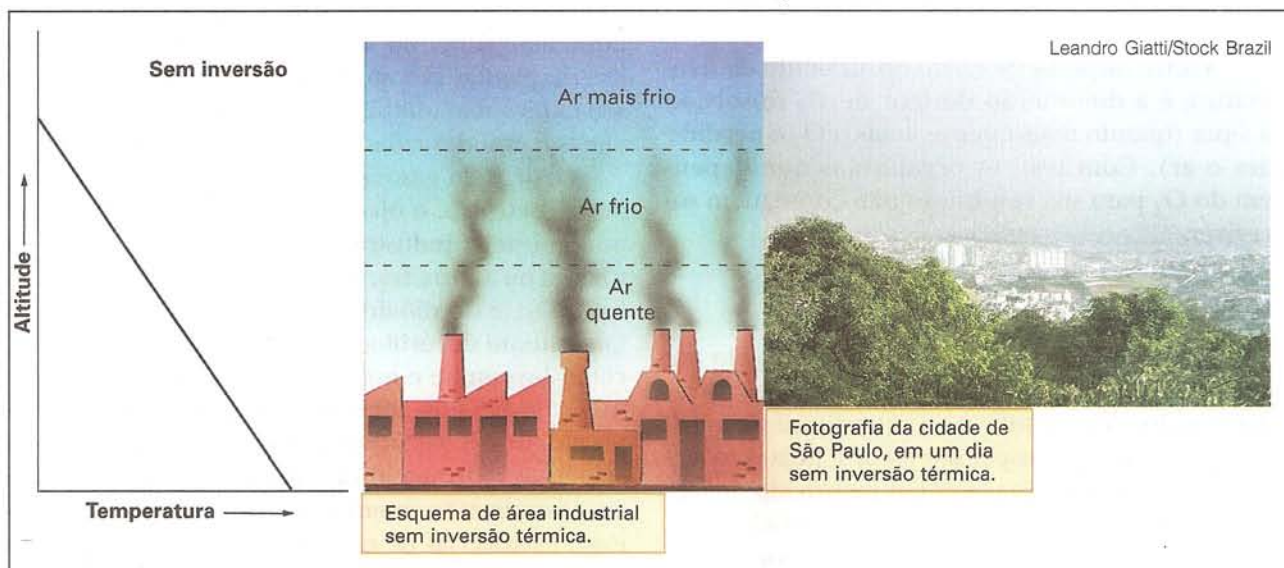
Adam Hart-Davis/SPL

Fotografia de estátua mostrando os efeitos corrosivos da chuva ácida.

As partículas sólidas em suspensão no ar, da mesma forma que os gases normais e os poluidores, são levadas pelas correntes de convecção para as camadas mais altas da atmosfera, de onde se dissipam. Esse processo diminui a poluição atmosférica e reduz seus efeitos.

A troposfera torna-se cada vez mais fria à medida que aumenta a altitude. No entanto, uma massa de ar quente pode penetrar na camada fria. Quando isso acontece, as correntes de convecção tornam-se fracas e incapazes de dispersar o ar, e com ele as substâncias poluidoras. Então a atmosfera próxima ao solo torna-se densa, escura e imprópria à vida normal e saudável.

Esse processo, caracterizado pela presença de uma massa de ar quente onde normalmente a atmosfera é fria e responsável pelo quadro descrito, é conhecido por **inversão térmica**.



A inversão térmica é particularmente grave em cidades industriais, pois aprisiona grande quantidade de poluentes no ar que a população respira.

3.4. Poluição por elementos radiativos

Elementos radiativos causam mutações genéticas que podem desencadear doenças, como o câncer, e até mesmo a morte dos indivíduos, e podem ser transmitidas ao longo das gerações. Assim, a preocupação sobre o que fazer com o lixo radiativo e como evitar a poluição por esses elementos deve ser sempre muito grande.

Na década de 1980 ocorreram dois importantes acidentes radiativos no mundo: em Chernobyl (na antiga União Soviética) e em Goiânia (Brasil).

A usina atômica de Chernobyl teve um de seus quatro reatores nucleares destruído por uma explosão seguida de incêndio. O acidente provocou a liberação de uma nuvem radiativa que atingiu não só as pessoas da cidade mais próxima (Kiev), como vários países da Europa. Foi, sem dúvida, o pior acidente nuclear da história, matando várias pessoas, mutilando outras e provocando doenças de vários tipos, desde câncer e lesões de pele até mutações genéticas preocupantes para as gerações futuras. Além de ter afetado diretamente o ser humano, essa nuvem radiativa contaminou a vegetação, os animais, o solo, os rios e os mares da região. Frutas, verduras, carne, leite e derivados não puderam mais ser consumidos, pois a radiação neles contida poderia contaminar pessoas saudáveis.

No Brasil, uma pequena cápsula contendo um pó radiativo, o cézio-137, foi aberta por pessoas desavisadas, provocando o acidente mais grave já registrado no mundo envolvendo esse tipo de elemento radiativo. Nessa cápsula havia apenas 19 g de cézio, que fazia parte de uma bomba de cézio-137 abandonada nos escombros do antigo Instituto Goiano de Radioterapia. A cápsula foi removida do local por sucateiros para ser vendida como ferro-velho. Ao abri-la, as pessoas ficaram atraídas pela luminescência do cézio e manipularam o pó, passando-o pelo corpo e distribuindo-o entre crianças, parentes e amigos. Evidentemente não sabiam do perigo que estavam correndo, até porque um material como esse nunca poderia ter sido simplesmente abandonado num hospital semidestruído.

O saldo dessa triste experiência foi a morte de quatro pessoas, a amputação do braço de outra pessoa e a contaminação de mais de duzentas.

Os primeiros sintomas da contaminação pelo cézio foram sentidos pelas vítimas algumas horas após o contato com o material: náuseas, vômito, tontura e diarreia. Depois apareceram as feridas provocadas pela radiação. Essas feridas são peculiares: no início surge uma vermelhidão e uma sensação de coceira, formigamento e dormência; a seguir surgem bolhas muito dolorosas, que se rompem formando

as feridas. Dependendo do grau de contaminação, pode ocorrer necrose de tecidos e até a morte.

Os acidentes de Chernobyl e de Goiânia não podem ser esquecidos. Eles nos servem como alerta para o grande perigo que os acidentes nucleares podem representar e despertam a atenção para mais um problema a ser resolvido pela humanidade: o que fazer com o lixo radiativo.

3.5. Poluição por substâncias não-biodegradáveis

O aumento da quantidade de substâncias não-biodegradáveis no meio tem trazido sérios problemas aos ecossistemas. As substâncias biodegradáveis são decompostas por organismos, principalmente bactérias. Já os produtos não-biodegradáveis não sofrem decomposição, caso principalmente das substâncias organocloradas, como o DDT, e dos metais pesados, como o mercúrio. Essas substâncias acumulam-se nos tecidos dos organismos e vão se concentrando ao longo das cadeias alimentares, acarretando sérios problemas aos organismos.

O mais persistente dos organoclorados é o DDT. Uma vez lançado no meio, ele permanece intacto por vários anos, acumulando-se nos tecidos dos organismos, passando inalterado pelas cadeias alimentares. No tecido dos produtores, como as plantas, a concentração de DDT pode ser baixa, mas os herbívoros, ao se alimentarem de produtores, acumulam a maior parte do DDT ingerido e excretam uma pequena porção. O mesmo processo ocorre com os carnívoros, com prejuízos para esses animais.

Pássaros que se alimentam em áreas de amplo uso de DDT colocam ovos com casca muito fina, que se quebra facilmente. Isso causa elevada taxa de mortalidade entre os filhotes, levando a uma diminuição na densidade da população desses animais.

Um poluente importante encontrado principalmente na água é o mercúrio, amplamente utilizado em indústrias químicas de tintas, de fungicidas, de pesticidas e de papel. Na forma inorgânica o mercúrio é relativamente inócuo por ser pouco absorvido no trato digestório. Entretanto, torna-se altamente tóxico quando associado a compostos orgânicos, principalmente o metilmercúrio. Esta substância, se ingerida, provoca lesões nervosas que podem levar o indivíduo à morte.

Assim como o DDT, o metilmercúrio concentra-se nos tecidos dos organismos ao longo das cadeias alimentares. Na baía de Minamata, no Japão, pescadores foram envenenados ao comerem peixes contaminados por metilmercúrio, que foi introduzido nessa baía junto com dejetos lançados por uma indústria química.

A indústria química responsável por esse desastre lançava seus dejetos que continham mercúrio desde 1930. Somente 20 anos depois surgiram os sintomas da contaminação: peixes, moluscos e pássaros começaram a morrer. Em 1956 foi registrado o primeiro caso de intoxicação humana: uma criança com danos cerebrais. Depois desse caso surgiram vários outros com o mesmo quadro e passou-se a falar em doença

ou mal de Minamata. Verificou-se depois que a doença era provocada pela contaminação por mercúrio.

Esse elemento não é facilmente detectável na água, por sua baixa concentração, mas, como se acumula no corpo dos organismos ao longo das cadeias alimentares, é mais fácil avaliar sua presença em um meio pela análise de tecidos do corpo dos organismos que vivem na região.

Controle de pragas por feromônios

O uso de pesticidas, como o DDT e outros, para o controle de pragas na agricultura não só resulta na contaminação do solo e da água como também deixa de ser eficiente a longo prazo. A resistência das pragas a esses pesticidas tem sido um fenômeno cada vez mais observado. Com frequência as pragas tornam-se resistentes aos pesticidas ou então se tornam mais abundantes depois que o produto se dissipa, já que seus inimigos naturais também são destruídos pelo pesticida. Além disso, uma praga eliminada por esse processo pode ser substituída por outra, mais resistente.

Com o objetivo de desenvolver um controle mais eficiente de pragas, sem causar alterações ambientais, os cientistas estão produzindo uma nova geração de pesticidas baseada no uso de feromônios sintetizados naturalmente por esses animais. Os feromônios são substâncias usadas na comunicação química entre os animais, muitas vezes agindo como "atrativos sexuais".

No caso dos insetos, as fêmeas produzem feromônios capazes de atrair os machos de sua espécie que estejam a até 5 km de distância. Sabendo desse processo natural de atração, com a ajuda desses feromônios o ser humano pode capturar os machos de insetos, interrompendo a reprodução e reduzindo a população. Além de não causar prejuízos ao meio, esse processo tem outra vantagem: cada feromônio atrai apenas indivíduos da espécie que o produziu, portanto é altamente específico.

3.6. Poluição por derramamento de petróleo

Os derramamentos de petróleo no mar são causados principalmente por acidentes com navios petroleiros em plataformas de petróleo e pela água usada na lavagem dos reservatórios de petróleo dos navios, depois lançada diretamente no mar.

O petróleo derramado forma extensas manchas na camada superficial das águas e, com isso, bloqueia a passagem de luz, afetando a fotossíntese e também impedindo as trocas de gases entre a água e o ar.

Os animais aquáticos também são diretamente afetados pelo petróleo, pois ele se impregna na superfície de seus corpos, matando-os por intoxicação ou por asfixia, quando essa impregnação ocorre nas brânquias dos peixes. Além da intoxicação, as aves marinhas podem ficar com as penas recobertas por petróleo, não conseguindo voar nem realizar a termorregulação, morrendo em seguida. Os mamíferos marinhos com o corpo impregnado de petróleo também não conseguem realizar a termorregulação e morrem.

Os derramamentos de petróleo que atingem as regiões de manguezais também são muito graves,

pois além de afetar árvores e animais que vivem no local, destroem a principal área de procriação para muitas espécies marinhas.



Fotografia de ave com o corpo recoberto por petróleo.

Eson Silva/AE

Alguns métodos são utilizados para conter a dispersão das manchas de petróleo derramado, dentre eles barreiras físicas e sucção por bombas. O uso de detergentes não tem sido indicado, pois seus efeitos podem ser tão graves quanto os ocasionados pelo

petróleo. O petróleo pode também ser degradado pela ação de bactérias específicas, mas esse processo é muito lento.

Tão importante quanto descobrir técnicas para retirar o petróleo das águas e das praias é procurar evitar seu derramamento por meio de medidas de segurança nos petroleiros e plataformas e do cuidado na lavagem dos tanques dos navios.

3.7. Poluição por eutroficação

A eutroficação corresponde ao aumento excessivo de nutrientes na água. Com isso ocorre crescimento exagerado de certos organismos, especialmente bactérias aeróbias, que passam a consumir grande parte do oxigênio existente na água. Isso faz com que não haja oxigênio suficiente para outros organismos, que, assim como as bactérias aeróbias, acabam morrendo. Essa grande mortalidade e a redução do oxigênio propiciam o desenvolvimento de bactérias anaeróbias.

A eutroficação pode ser natural ou provocada por resíduos urbanos, industriais ou agrícolas.

O lançamento de esgoto doméstico diretamente nos rios sem tratamento adequado é uma das principais causas de eutroficação e tem sido responsável pela destruição da fauna e da flora de muitos rios que banham as grandes cidades, como é o caso dos rios Pinheiros e Tietê, ambos na cidade de São Paulo.

O lançamento de dejetos humanos no meio ambiente traz outra preocupação em termos de saúde, pois contribui para a propagação de várias doenças, como as causadas por certos vermes, amebas, bactérias e vírus.

3.8. O lixo

Cada pessoa é responsável por cerca de 3,6 quilogramas de lixo por dia! O que fazer com esse lixo, constituído por diversos materiais, como vidros, plásticos, metais, papéis, papelão, restos de comida e outros? Considere que a população humana vem crescendo muito. A sociedade de consumo vem aumentando a quantidade de lixo produzido graças aos inúmeros itens descartáveis que procuram “facilitar” o dia-a-dia das pessoas.

O problema do lixo é muito sério. Algumas soluções têm sido propostas, mas há muitas outras

que podem e devem surgir.

Uma das soluções mais antigas, e que ainda é utilizada, consiste simplesmente em remover o lixo de um local e transferi-lo para outro, na periferia das cidades, formando os imensos **lixões** a céu aberto. Além do mau cheiro, esses lixões são responsáveis por intensa proliferação de insetos, como moscas e baratas, e de outros animais, como ratos, causando um grave problema de saúde pública. Além disso, as populações de baixa renda passaram a explorar esses lixões recolhendo restos de comida, objetos e outros itens, o que coloca em risco sua própria saúde.



Agência Estado

Fotografia de uma pessoa coletando material em lixão.

Apesar de ainda existirem muitos lixões, eles são inaceitáveis. Atualmente, existem formas mais adequadas para lidar com o lixo, como os aterros sanitários, a incineração (queima) e a compostagem.

Nos **aterros sanitários** o solo é preparado de modo a receber uma impermeabilização e impedir que o lixo contamine o solo, como já comentado no capítulo 14.

A **incineração** é realizada principalmente nos casos de lixo contaminado, como o de hospitais. Apesar de ser executado em incineradores apropriados, esse processo sempre gera um pouco de poluição do ar pela emissão de fumaça.

A **compostagem** consiste em transformar a parte orgânica do lixo em um composto, que pode servir de fertilizante para o solo. É bastante útil porque além de ser uma solução para o lixo orgânico também contribui para a agricultura e participa do processo de reciclagem da matéria orgânica.

Para realizar a compostagem é necessário separar a matéria orgânica do resto do lixo, o que não é tarefa fácil. Por isso em algumas cidades as prefeituras têm feito a **coleta seletiva**, facilitando o tratamento do lixo urbano e sua reciclagem. Nesses casos, separa-se a matéria orgânica que se decompõe facilmente (como restos de comida) de outros materiais, como vidro, metal, papel e plástico, que podem ser reciclados, isto é, reaproveitados na fabricação de novos produtos.



Fotografia de caminhão que realiza coleta seletiva de lixo.

Agência Estado



Fotografia de recipientes para a coleta seletiva de lixo: vidro (cor verde), metal (cor amarela), papel (cor azul) e plástico (cor vermelha).

Daniel Cymbalista/Pulsar



QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Cite exemplos de alterações bióticas nos ecossistemas e suas consequências.
2. Conceitue poluição.
3. Exemplifique poluição do ar em função de alterações nos componentes que normalmente ocorrem na atmosfera.
4. Diga quais são as principais consequências da inversão térmica para o ser humano.
5. Explique o que é chuva ácida e cite seus principais efeitos na deterioração do meio.
6. Conceitue poluição térmica e poluição sonora e mencione os principais efeitos nocivos.
7. Explique as consequências ecológicas do uso do DDT.
8. Diga quais são as principais consequências da poluição por derramamento de petróleo.
9. Explique por que não devem ser feitos lixões e quais as vantagens do aterro sanitário.
10. Desde que o ser humano surgiu na Terra, ele tem provocado alterações no meio, maiores que as provocadas por qualquer outra espécie de ser vivo. Em 1962, a bióloga americana Rachel Carson escreveu um livro intitulado *Primavera silenciosa*, que alerta sobre o perigo do uso abusivo de inseticidas não-biodegradáveis. Um dos relatos do livro comenta o uso do DDT, um inseticida considerado menos tóxico do que o DDT aos animais de sangue quente. Esse inseticida foi usado no Lago Clear, na Califórnia, para matar um tipo de mosquito que perturbava os pescadores. Apesar de ter sido aplicado em doses baixas, cerca de três anos depois começaram a aparecer aves grandes e mergulhões mortos, e ovos de aves com casca enfraquecida. Com base nos seus conhecimentos, explique qual a relação entre o DDT e a mortalidade das aves descrita no livro de Rachel Carson.



TEXTO PARA DISCUSSÃO

Peixe-boi: mamífero aquático ameaçado de extinção

O peixe-boi é um mamífero aquático da Ordem Sirenia, que atualmente reúne apenas quatro espécies, todas ameaçadas de extinção:

- **peixe-boi-marinho**: existem duas subespécies reconhecidas pelos cientistas: a *Trichechus manatus manatus*, cuja ocorrência histórica era desde a região costeira do Espírito Santo até o Amapá e hoje está restrita

apenas ao litoral de Alagoas até o Amapá, e a *Trichechus manatus latirostris*, encontrada no golfo do México e na Flórida, onde é conhecida por **manati**. Animal dócil, herbívoro, chega a medir cerca de 4,5 m de comprimento e pesar 500 quilogramas;

- **peixe-boi-da-amazônia:** *Trichechus inunguis*, endêmico da bacia Amazônica, ou seja, só nasce e se reproduz nas águas doces da maior floresta tropical do mundo. É o menor dos sirênios, medindo cerca de 2,8 m de comprimento;
- **peixe-boi-africano:** *Trichechus senegalensis*, restrito às regiões costeiras do oeste do continente africano, do Senegal até Angola;
- **dugongo:** *Dugong dugong*, restrito às faixas litorâneas dos oceanos Índico e Pacífico.



Luciano Candisani

Fotografia de um peixe-boi-marinho, que passa até 8 horas por dia alimentando-se de algas e plantas aquáticas. Ele necessita comer o equivalente a pelo menos 10% de seu peso. O animal da fotografia foi flagrado em Porto de Pedras, Alagoas, junto a um banco de capim-agulha, um dos principais itens de sua dieta. O assoreamento das áreas costeiras, no entanto, coloca em risco essas plantas e conseqüentemente esses animais. Mede cerca de 4,5 m de comprimento.



Luciano Candisani

Fotografia de peixe-boi-da-amazônia num dos raros momentos em que surge das águas para respirar e se alimentar de plantas aquáticas. Este animal mede cerca de 2,8 m de comprimento.

A situação dessas quatro espécies é alarmante, mas a do peixe-boi-marinho é ainda mais crítica. A caça indiscriminada e alterações no hábitat natural dessa espécie levaram ao desaparecimento quase total do peixe-boi-marinho no litoral brasileiro.

Para impedir que esse animal desapareça rapidamente da natureza foi criado, no início da década de 1980, o Projeto Peixe-boi, com sede na ilha de Itamaracá (litoral norte de Pernambuco). Graças a esse projeto estão sendo levantadas muitas informações sobre a reprodução e o modo de vida desses animais, dando esperanças de que ele não desapareça para sempre.



Luciano Candisani

Fotografia de um dos tanques de água do mar (oceanários) da base do Projeto Peixe-boi, na ilha de Itamaracá, construídos entre 1991 e 2000 e que estão entre as principais atrações do estado de Pernambuco.

O peixe-boi-da-amazônia, também ameaçado de extinção, teve sua caça proibida desde 1967, mas ainda é caçado. Seu “couro” é retirado e utilizado em diversos artigos, como correias, e sua carne é fatiada para uso na alimentação humana. O futuro dessa espécie é frágil, e o ser humano parece não perceber o que está fazendo. Dados do Ibama indicam que cerca de quinhentos animais são mortos por ano. Sua população já está tão reduzida, que não sustenta nem mesmo a captura para a subsistência, de modo que mesmo populações humanas ribeirinhas que têm no peixe-boi uma fonte de alimento não dispõem desse recurso num futuro muito próximo.

Os pesquisadores do Projeto Peixe-boi têm trabalhado junto a essas populações humanas da Amazônia para esclarecer esses problemas e demonstrar que elas podem utilizar outras fontes de alimento, como a criação de galinhas e porcos para consumo, não necessitando se alimentar do peixe-boi. Apesar

disso, seria necessário haver políticas governamentais visando ao uso sustentável de recursos da natureza e à valorização da cultura para que essas pessoas possam viver melhor.

O desaparecimento do peixe-boi-da-amazônia em certos locais tem causado perturbações ambientais: esses animais, por serem herbívoros, alimentam-se de vegetação aquática e em grande quantidade, de modo que contribuem para o equilíbrio da densidade dessa vegetação. Com a ausência desse animal, em alguns lugares da Amazônia verifica-se um processo chamado “tapagem”, em que bocas de lagos e igarapés são tomadas por capim.

Se não forem adotadas medidas urgentes, não só o peixe-boi-marinho como também o peixe-boi-da-amazônia poderão aumentar a lista dos animais banidos do planeta pelas ações imprudentes do ser humano.

Adaptado de: *Peixe-boi, a história da conservação de um mamífero brasileiro*, DBA, 2002.

- O peixe-boi é um dos símbolos da luta dos cientistas e da população que já aprendeu a amar e respeitar a vida, para salvar espécies em extinção. Procure saber mais sobre os mamíferos aquáticos brasileiros ameaçados de extinção e discuta as medidas que vêm sendo tomadas para tentar reverter esse quadro.



TESTES

1. (Fatec-SP) Numa comunidade de uma lagoa, houve despejo de esgoto industrial contendo um composto químico com efeito cumulativo. Após algum tempo, haverá maior concentração desse composto nos seguintes membros da cadeia alimentar:

- a) fitoplâncton e peixes.
- b) fitoplâncton e moluscos.
- c) moluscos e larvas de insetos.
- d) moluscos e peixes.
- e) peixes e aves aquáticas.

2. (UFSM-RS) Analise as proposições:

- I — A eutrofização pode levar à proliferação de dinoflagelados, sendo esse fenômeno conhecido como maré vermelha.
- II — Na reciclagem do lixo, somente plásticos e papel podem ser reciclados.
- III — O monóxido de carbono (CO) é um gás que resulta da queima incompleta de moléculas orgânicas e, quando se combina com a hemoglobina, torna-a inutilizada para o transporte de oxigênio.

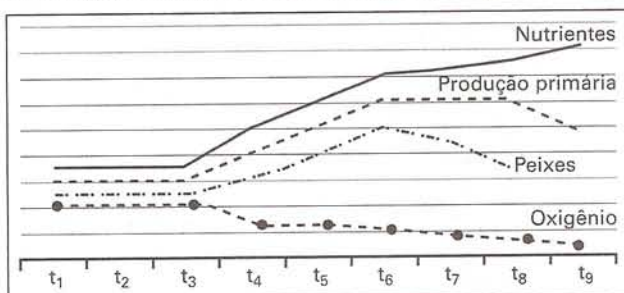
Está(ão) correta(s):

- a) I apenas.
- b) I e II apenas.
- c) I e III apenas.
- d) II e III apenas.
- e) I, II e III.

3. (ENEM) Numa região, originalmente ocupada por Mata Atlântica, havia, no passado, cinco espécies de pássaros de um mesmo gênero. Nos dias atuais, essa região se reduz a uma reserva de floresta primária, onde ainda ocorrem as cinco espécies, e a fragmentos de floresta degradada, onde só se encontram duas das cinco espécies. O desaparecimento das três espécies nas regiões degradadas pode ser explicado pelo fato de que, nessas regiões, ocorreu:

- a) aumento do volume e da frequência das chuvas.
- b) diminuição do número e da diversidade de habitats.
- c) diminuição da temperatura média anual.
- d) aumento dos níveis de gás carbônico e de oxigênio na atmosfera.
- e) aumento do grau de isolamento reprodutivo interespecífico.

4. (ENEM) Os esgotos domésticos constituem grande ameaça aos ecossistemas de lagos ou represas, pois deles decorrem graves desequilíbrios ambientais. Considere o gráfico abaixo, no qual no intervalo de tempo entre t_1 e t_3 observou-se a estabilidade em ecossistema de lago, modificado a partir de t_3 pelo maior despejo de esgoto.



Indique a interpretação que está de acordo com o gráfico:

- Entre t_3 e t_6 , a competição pelo oxigênio leva à multiplicação de peixes, bactérias e outros produtores.
- A partir de t_3 , a decomposição do esgoto é impossibilitada pela diminuição do oxigênio disponível.
- A partir de t_6 , a mortalidade de peixes decorre da diminuição da população de produtores.
- A mortalidade de peixes, a partir de t_6 , é devida à insuficiência de oxigênio na água.
- A partir de t_3 , a produção primária aumenta devido à diminuição dos consumidores.

Leia o texto abaixo para responder aos testes 5 e 6.

A possível escassez de água é uma das maiores preocupações da atualidade, considerada por alguns especialistas como o desafio maior do novo século. No entanto, tão importante quanto aumentar a oferta é investir na preservação da qualidade e no reaproveitamento da água de que dispomos hoje.

5. (ENEM) A ação humana tem provocado algumas alterações quantitativas e qualitativas da água:

- Contaminação de lençóis freáticos.
- Diminuição da umidade do solo.
- Enchentes e inundações.

Pode-se afirmar que as principais ações humanas associadas às alterações I, II e III são, **respectivamente**:

- uso de fertilizantes e aterros sanitários/lançamento de gases poluentes/canalização de córregos e rios.
- lançamento de gases poluentes/lançamento de lixo nas ruas/construção de aterros sanitários.
- uso de fertilizantes e aterros sanitários/desmatamento/impermeabilização do solo urbano.
- lançamento de lixo nas ruas/uso de fertilizantes/construção de aterros sanitários.
- construção de barragens/uso de fertilizantes/construção de aterros sanitários.

6. (ENEM) Algumas medidas podem ser propostas com relação aos problemas da água:

- Represamento de rios e córregos próximo às cidades de maior porte.

- Controle da ocupação urbana, especialmente em torno dos mananciais.
- Proibição do despejo de esgoto industrial e doméstico sem tratamento nos rios e represas.
- Transferência de volume de água entre bacias hidrográficas para atender as cidades que já apresentam alto grau de poluição em seus mananciais.

As duas ações que devem ser tratadas como prioridades para a preservação da qualidade dos recursos hídricos são:

- I e II.
- I e IV.
- II e III.
- II e IV.
- III e IV.

7. (ENEM) Um dos grandes problemas das regiões urbanas é o acúmulo de lixo sólido e sua disposição. Há vários processos para a disposição do lixo, dentre eles o aterro sanitário, o depósito a céu aberto e a incineração. Cada um deles apresenta vantagens e desvantagens. Considere as seguintes vantagens de métodos de disposição do lixo:

- diminuição do contato humano direto com o lixo;
- produção de adubo para agricultura;
- baixo custo operacional do processo;
- redução do volume de lixo.

A relação correta entre cada um dos processos para a disposição do lixo e as vantagens apontadas é:

	Aterro sanitário	Depósito a céu aberto	Incineração
a)	I	II	I
b)	I	III	IV
c)	II	IV	I
d)	II	I	IV
e)	III	II	I

8. (ENEM) Considere os seguintes acontecimentos ocorridos no Brasil:

— Goiás, 1987 — Um equipamento contendo césio radioativo, utilizado em medicina nuclear, foi encontrado em um depósito de sucatas e aberto por pessoa que desconhecia o seu conteúdo. Resultado: mortes e consequências ambientais sentidas até hoje.

— Distrito Federal, 1999 — Cilindros contendo cloro, gás bactericida utilizado em tratamento de água, encontrados em um depósito de sucatas, foram abertos por pessoa que desconhecia o seu conteúdo. Resultado: mortes, intoxicações e consequências ambientais sentidas por várias horas.

Para evitar que novos acontecimentos dessa natureza venham a ocorrer, foram feitas as seguintes propostas para a atuação do Estado:

- Proibir o uso de materiais radioativos e gases tóxicos.
- Controlar rigorosamente a compra, uso e destino de materiais radioativos e de recipientes contendo gases tóxicos.
- Instruir usuários sobre a utilização e descarte destes materiais.

IV — Realizar campanhas de esclarecimentos à população sobre os riscos da radiação e da toxicidade de determinadas substâncias.

Dessas propostas, são adequadas apenas:

- a) I e II. c) II e III. e) II, III e IV.
b) I e III. d) I, III e IV.

9. (PUC-RS) Analise as afirmações relacionadas ao meio ambiente e aos seres vivos:

- I — O petróleo derramado acidentalmente nos mares e rios, como no Rio Iguaçu no ano 2000, forma extensas manchas que dificultam ou bloqueiam a passagem de luz, além de impedir a troca de gases entre o ar e a água, prejudicando os animais aquáticos.
II — Pássaros que se alimentam de vegetais, em áreas de extenso uso do DDT, chegam a botar ovos com casca muito fina, levando a uma diminuição da densidade populacional desses animais.
III — O mercúrio, metal líquido, usado no garimpo para a extração do ouro, nas áreas de exploração desse metal, oferece um risco muito grande aos seres vivos que o ingerem acidentalmente.
IV — A camada de ozônio da atmosfera é afetada pelo lançamento indiscriminado no ar de gases, como o gás carbônico.

Estão corretas:

- a) todas. d) apenas I, II e III.
b) apenas I, III e IV. e) apenas I e III.
c) apenas II, III e IV.

10. (ENEM)

Casos de leptospirose crescem na região

M.P.S. tem 12 anos e está desde janeiro em tratamento de leptospirose. Ela perdeu a tranquilidade e encontrou nos ratos (...) os vilões de sua infância. "Se eu não os matar, eles me matam", diz. Seu medo reflete um dos maiores problemas do bairro: a falta de saneamento básico e o acúmulo de lixo...

(O Estado de S. Paulo, 31/07/1997)

Oito suspeitos de leptospirose

A cidade ficou sob as águas na madrugada de anteontem e, além de 120 desabrigados, as inundações estão fazendo outro tipo de vítimas: já há oito suspeitas de casos de leptospirose (...) transmitida pela urina de ratos contaminados.

(Folha de S. Paulo, 12/02/1999)

As notícias dos jornais sobre casos de leptospirose estão associadas aos fatos:

- I — Quando ocorre uma enchente, as águas espalham, além do lixo acumulado, todos os dejetos dos animais que ali vivem.
II — O acúmulo de lixo cria ambiente propício para a proliferação dos ratos.
III — O lixo acumulado nos terrenos baldios e nas margens de rios entope os bueiros e compromete o escoamento das águas em dias de chuva.
IV — As pessoas que vivem na região assolada pela enchente, entrando em contato com a água contaminada, têm grande chance de contrair a leptospirose.

A **seqüência** de fatos que relaciona corretamente a leptospirose, o lixo, as enchentes e os roedores é:

- a) I, II, III e IV. c) IV, III, II e I. e) II, III, I e IV.
b) I, III, IV e II. d) II, IV, I e III.

11. (PUC-RJ) Pesquisadores encontraram altas concentrações de DDT, um inseticida não-biodegradável que se acumula no meio ambiente, atingindo até tecidos de focas e leões-marinhos de regiões polares, onde ele nunca foi utilizado.

A seguir encontram-se afirmativas acerca do fluxo de matéria e energia nas cadeias alimentares.

- I — A quantidade de energia diminui na passagem de um nível trófico para outro, ocorrendo o mesmo com a biomassa.
II — A energia e a matéria orgânica passam do produtor aos outros seres vivos do ecossistema através da cadeia alimentar.
III — Quando ingeridos pelos seres vivos, os produtos não-biodegradáveis tendem a se concentrar ao longo das cadeias alimentares.
IV — Em média apenas 10% da energia de um nível trófico passa para o nível anterior.

Indique a opção que contém as afirmativas corretas:

- a) I e II c) I e IV e) I e III
b) II e III d) III e IV

12. (PUC-SP) Em 1953, foi evidenciada no Japão uma doença denominada "Mal de Minamata", em que as pessoas afetadas apresentavam distúrbios de visão, audição e coordenação.

Resíduos com mercúrio foram despejados nas águas da baía de Minamata. O mercúrio foi absorvido pelo plâncton que servia de alimento para moluscos e para certos peixes. Por sua vez, os moluscos eram predados por outros grupos de peixes e os peixes representavam a dieta básica das pessoas da região.

Sabendo-se que o mercúrio tem efeito cumulativo, espera-se encontrar:

- a) maior concentração dessa substância no homem e menor concentração no plâncton.
b) maior concentração dessa substância no plâncton e menor concentração no homem.
c) maior concentração dessa substância no plâncton e menor concentração nos peixes e nos moluscos.
d) a mesma concentração dessa substância no plâncton, nos moluscos e nos peixes e uma maior concentração no homem.
e) a mesma concentração dessa substância em todos os elos da teia alimentar descrita.

13. (UFPR) "O Secretário-Geral da ECO-92, o canadense Maurice Frederick Strong, diz que se o homem não mudar a maneira de se relacionar com a natureza, a catástrofe ecológica será inevitável."

(Veja, 29 de maio de 1991)

Com relação às formas como o homem se relaciona com o meio ambiente, é correto afirmar que (mais de uma alternativa pode estar correta):

- a) Substâncias como o CFC (clorofluorcarbono, conhecido como freon, propelente dos aerossóis) afetam a camada de ozônio.

- b) Inseticidas que causam efeito cumulativo são transferidos ao longo da cadeia alimentar.
- c) Os elementos radiativos, quando utilizados adequadamente, podem ser úteis ao homem.
- d) A utilização de pesticidas pelo homem é uma das maneiras de eliminar pragas sem alterar o equilíbrio ecológico, uma vez que atuam diretamente sobre os organismos que se deseja eliminar.
- e) O monóxido de carbono é um gás inodoro e incolor, perigoso poluente encontrado na atmosfera, sobretudo nas zonas urbanas.

14. (UFSC) O freqüente derramamento de petróleo em águas brasileiras tem provocado danos graves ao meio ambiente. De acordo com esse fato, é correto afirmar que (mais de uma alternativa pode estar correta):

- a) os peixes, por viverem abaixo da superfície das águas, não são afetados.
- b) as aves marinhas, em contato com a película flutuante de petróleo, podem morrer.
- c) a película flutuante de petróleo impede a penetração da luz na água.
- d) os organismos aquáticos fotossintetizantes morrem devido à ausência de luz.
- e) a ingestão de organismos que tiveram contato com esse fenômeno poderá acarretar danos à saúde humana.



QUESTÕES DISCURSIVAS

1. (Unesp-SP) Uma indústria instalou-se à margem de um lago e passou a usar a água do mesmo para resfriar caldeiras. A água quente voltava ao lago, elevando sua temperatura para cerca de 38 °C.

- a) Qual o significado ecológico dessa alteração?
- b) Justifique sua resposta, levando em consideração a solubilidade dos gases.

2. (Fuvest-SP) A análise da concentração de DDT em organismos marinhos apresentou os seguintes resultados:

Organismo	Quantidade de DDT em mg por litro
Atobás	28,00
Pescadas	2,25
Manjubas	0,60
Copépodes	0,07

Com base nos índices de DDT, esquematize a provável cadeia alimentar constituída por esses organismos. Justifique sua resposta.

3. (Unicamp-SP) Por que os poluentes de longa vida (tal como o Césio-137, por exemplo) e os defensivos químicos (como o DDT), mesmo quando ocorrem em baixas concentrações na natureza, são prejudiciais principalmente para os carnívoros?

Saraiva

Editora



BIO

VOLUME ÚNICO

SÔNIA LOPES



TABELA DE ATUALIZAÇÃO DA NOMENCLATURA *

O Ministério da Educação tem recomendado o uso de terminologia científica atualizada e de acordo com as *Nomina Anatomica*, em livros didáticos destinados ao Ensino Fundamental e Médio.

Tendo em vista que somente alguns nomes de estruturas e de sistemas têm sido amplamente divulgados pelos meios de comunicação, optamos por apresentar uma tabela em que constam os nomes antigos (e mais conhecidos) e os nomes atualizados correspondentes, que foram empregados nesta obra.

Para essa atualização foram consultadas as *Nomina Anatomica* humana, veterinária, aviária, citológica, histológica e embriológica. Como as *Nomina Anatomica* utilizadas encontram-se em latim e ainda não existe uma apropriação para o português aprovada por pesquisadores brasileiros, decidimos incorporar à tabela também os nomes em latim, que são os oficiais. O que existe até o momento em português é o livro do Prof. Di Dio **, mas somente para anatomia humana.

Com relação aos invertebrados, como não existe uma *Nomina Anatomica* específica, optamos por empregar os termos de acordo com livros de Zoologia destinados ao Ensino Superior.

Nome antigo	Nome atual	Nome oficial em latim
alça de Henle	alça néfrica	<i>ansa nephroni</i>
amígdala	tonsila	<i>tonsilla</i>
bainha de mielina	estrato miélinico	<i>stratum myelini</i>
bulbo olfativo	bulbo olfatório	<i>bulbus olfactorius</i>
canal de Havers	canal central	<i>canalis centralis</i>
canal de Volkmann	canal perfurante	<i>canalis perforans</i>
canal do epêndimo	canal central	<i>canalis centralis</i>
canal pancreático	duto pancreático	<i>ductus pancreaticus</i>
célula de Schwann	oligodendrócito	<i>oligodendrocytus</i>
célula de Sertoli	epiteliócito sustentador	<i>epitheliocytus sustentans</i>
chalaza	calaza	<i>chalaza</i>
circunvoluções cerebrais	sulcos e giros cerebrais	<i>sulci et gyri cerebri</i>
complexo de Golgi	complexo golgiense	<i>complexus golgiensis</i>
dictiossomo ou golgiossomo	sáculo lameliforme	<i>sacculus lamelliformis</i>
feixe de His	fascículo atrioventricular	<i>fasciculus atrioventricularis</i>
fibra de Purkinje	miócito condutor cardíaco	<i>myocytyus conducens cardiacus</i>
fibra muscular	miócito	<i>myocytyus</i>
fibras nervosas	neurofibras	<i>neurofibrae</i>
fossa nasal	cavidade nasal	<i>cavum nasi</i>

* A elaboração da presente lista contou com a colaboração do Prof. Dr. Wagner Intelizano, especialista em Anatomia e ex-professor da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

** Di Dio, Liberato. *Tratado de anatomia aplicada*. São Paulo, Póllus, 1999. v. 1 e 2.

Nome antigo	Nome atual	Nome oficial em latim
gânglio linfático	linfonodo	<i>lymphonodus</i>
goteira neural	sulco neural	<i>sulcus neuralis</i>
hipoderme	tela subcutânea	<i>tela subcutanea</i>
ilhotas de Langerhans	ilhas pancreáticas	<i>insulae pancreaticae</i>
líquido cefalorraquidiano	líquido cérebro-espinhal	<i>liquor cerebrospinalis</i>
lóbulo olfativo	bulbo olfatório	<i>bulbus olfactorius</i>
nervos raquidianos	nervos espinhais	<i>nervi spinales</i>
neurógia	gliócito	<i>gliocytyus</i>
nódulo atrioventricular	nó atrioventricular	<i>nodus atrioventricularis</i>
nódulo de Ranvier	nó neurofibroso	<i>nodus neurofibrae</i>
nódulo sinoatrial	nó sinoatrial	<i>nodus sinuatrialis</i>
órgão de Corti	órgão espiral	<i>organum spirale</i>
ouvido	orelha	<i>auris</i>
papo	inglúvio	<i>ingluvies</i>
paratireóide	glândula paratireóidea	<i>glandula parathyreoidea</i>
ponte de Varolio	ponte	<i>pons</i>
retículo endoplasmático liso	retículo endoplasmático não-granuloso	<i>reticulum endoplasmaticum nongranulosum</i>
retículo endoplasmático rugoso ou granular	retículo endoplasmático granuloso	<i>reticulum endoplasmaticum granulosum</i>
sarcômero	miômero	<i>myomerum</i>
sistema circulatório	sistema cardiovascular	<i>systema cardiovasculare</i>
sistema digestivo	sistema digestório	<i>systema digestorium</i>
sistema excretor	sistema urinário	<i>systema urinaria</i>
sistema nervoso cefalorraquidiano	sistema nervoso ou neural	<i>systema nervosum</i>
sistema reprodutor	sistema genital	<i>systema genitalis</i>
tecido muscular cardíaco	tecido muscular estriado cardíaco	<i>textus muscularis striatus cardiacus</i>
tecido muscular estriado	tecido muscular estriado esquelético	<i>textus muscularis striatus skeletalis</i>
tecido muscular liso	tecido muscular não-estriado	<i>textus muscularis nonstriatus</i>
tireóide/tiróide	glândula tireóidea	<i>glandula thyreoidea</i>
trompa de Eustáquio	tuba auditiva	<i>tuba auditiva</i>
tubérculo quadrigêmeo	colículo superior e inferior	<i>colliculus superior et inferior</i>

ÍNDICE REMISSIVO

A

abomaso, 377
 abscisão, 276
 absorção, 376
 acelomados, 150
 acidente vascular cerebral (AVC), 403
 ácido(s)
 abscísico (ABA), 276
 graxos insaturados, 43
 graxos saturados, 43
 nucléicos, 421
 acidose, 402
 acrocêntrico, 122
 acromegalia, 413
 actina, 77
 acúleos, 254
 adenóides, 392
 adenoipófise, 413
 adesão, 39, 272
 adrenoleucodistrofia, 112
 adubação
 química, 546
 verde, 546
 aerênquima, 255
 ágar, 218
 agente laranja, 280
 áglifa, 361
 ágnatos, 345
 agranulócitos, 395
 agulhão, 329
 AIDS (Síndrome da Imunodeficiência Adquirida), 191, 194
 albinismo, 441
 alburno, 259
 alcaptonúria, 422
 alça de Henle, 399
 aldosterona, 401
 alelo(s), 432
 dominante, 435
 letais, 442
 múltiplos, 443
 recessivo, 435
 alevino, 347
 algas, 213
 pardas, 220
 verdes, 220
 vermelhas, 220
 alginatos, 218
 alporquia, 246
 Alzheimer, doença de, 136
 amarelão, 307
 amensalismo, 553
 ametábolo, 326
 amido, 42
 amígdalas, 397
 amilase
 pancreática, 381
 salivar, 379
 amiloplastos, 82
 aminoácidos, 45
 essenciais, 46
 naturais, 46
 amoniotélicos, 399
 anagênese, 182, 522
 analogia, 506
 ancilostomose, 307
 androceu, 243
 anéis de crescimento, 259
 anel de Malpighi, 273
 anelídeos, 316
 anemia, 41
 falciforme, 46, 513
 anemocoria, 266
 anemofilia, 243
 anêmonas-do-mar, 294
 aneuploidias, 124
 anfimixia, 136
 anfioxo, 147, 342
 anfisbenas, 360-1
 angina *pectoris*, 403
 angiospermas, 240
 angiotensina, 401
 angiotensinogênio, 401
 anomalia da urina preta, 422
 antera, 244
 anterozóides, 241
 antibiose, 553
 anticódon, 108
 anticorpo, 397
 antígeno, 397
 antóceros, 240
 antozoários, 294
 antraz, 205
 antropóides, 525-6
 apêndice vermiforme, 382, 507
 aplanósporos, 227
 ápodes, 352
 aquênio, 265
 aracnóide, 407
 aranhas-armadeiras, 335
 -marrons, 335

Archaea, 188, 202
 Archaeobacteria, 188
 arco reflexo, 409
Ardipithecus ramidus, 527
 arquêntero, 147
 arqueobactérias, 202
 halófilas extremas, 202
 metanogênicas, 202
 termófilas extremas, 202
 arqueócitos, 289
 arraias, 346
 artérias, 391
 arteríolas, 391
 arteriosclerose, 403
 articulações, 375
 artrite reumatóide, 80
 artrópodes, 323
 árvore respiratória, 333
 asas, 363
 ascaridíase, 306
 ascídia(s), 341-2
 asco, 228, 231
 ascarpos, 228
 ascósporos, 228, 231
 áster, 116
 Asteroidea, 333
 aterros sanitários, 209, 579
 atmosfera, 33
 atos
 reflexos, 409
 voluntários, 409
 ATP, 88
 átrio, 287
 atrofia óptica de Leber, 136, 498
 aumento, poder de, 59
Australopithecus, 528
 afarensis, 527
 autofecundação, 129
 autossomos, 122, 480
 autotomia, 360
 autótrofos, 20
 auxinas, 275
 AVC, 403
 axônio, 171

B

Bacillariophyta, 218
 baço, 392, 397
 Bacteria, 188, 202

bactérias nitrificantes, 545
 bacteriorrizas, 545
 báculos, 242
 baga, 265
 bacia, 264
 balantidiose, 217
 barrete, 377
 bases nitrogenadas, 50
 basídio(s), 228, 233
 basidiocarpos, 228, 233
 basidiósporo(s), 228, 233
 basófilo, 395
 bastonetes, 411
 beribéri, 41
 bexiga urinária, 399
 biblioteca de DNA, 496
 bicho-geográfico, 307
 bile, 381
 biocenose, 537
 biofixação, 545
 Biologia molecular, 425
 biomas
 de água doce, 564
 terrestres, 564
 biosfera, 33
 biota, 537
 bipartição, 128
 bivalves, 316
 Bivalvia, 316
 blastocisto, 153
 blastômeros, 145
 blastóporo, 147
 blástula, 146
 boiacicas, 352
 bolo alimentar, 379
 Botânica, 239
 botões vegetativos, 246
 botulismo, 206
 brácteas, 264
 brânquia, 383
 briófitas, 240
 brotamento, 128, 288
 bulbo, 263, 408

C

caatinga, 566-7
 cadeia alimentar, 23
 cágados, 359

caixa craniana, 407
 calaza, 152
 calazar, 217
 cálculo renal, 402
 cálice, 243
 câmbio
 da casca, 256
 interfascicular, 256
 campos, 565
 cerrados, 568
 camuflagem, 515
 canais
 de Volkmann, 167
 semicirculares, 412
 câncer, 118
 candidíases vaginais, 234
 canguru, 367
 canibalismo, 552
 capilares, 391
 linfáticos, 391
 cápsula renal, 399
 caramujos, 314
 caranguejo, 328
 carapaça, 219
 caravela, 291
 carboemoglobina, 385
 carboxiemoglobina, 385
 carbúnculo, 206
 carena, 363
 carenatas, 363-4
 cariocinese, 117
 cariogamia, 228
 cariopse, 265
 carioteca, 27
 cariótipo, 122
 carotenóides, 91
 carotenos, 91
 carpelo, 243
 carragenina, 218
 cartilagem, 166
 catafilos, 263
 catapora, 197
 cauda pós-anal muscular, 340
 caule rastejante
 do tipo estolho, 263
 prostrado do tipo
 sarmento, 263
 volúvel, 262
 caulículo, 252

cavalo-marinho, 349
 cavidade
 do manto, 313
 gastrovascular, 289
 palial, 313
 caxumba, 197
 cecílias, 352
 ceco(s)
 intestinal, 382
 pilóricos, 378
 cefalocordados, 340
 celacanto, 348
 celoma, 149
 celomados, 150
 célula(s)
 adiposas, 166
 anucleadas, 104
 binucleadas, 104
 compânheiras, 256
 da glia, 171
 de Merkel, 366
 de Schwann, 172
 diplóides, 115
 espermáticas, 241
 eucarióticas, 27
 -flama, 301
 foliculares, 135
 germinativas primordiais,
 132
 haplóides, 115
 mononucleadas, 104
 multinucleadas, 104
 procarióticas, 27
 -tronco, 175
 celulose, 42
 centopéias, 331
 centríolos, 76
 centro celular, 76
 centrômero, 116
 centrossomo, 76
 Cephalopoda, 315
 cerebelo, 408
 cérebro, 408
 cerne, 259
 cestódeos, 303
 Chelicerata, 324
 Chelonia, 359
 Chlorophyta, 218
 Chytridiomycota, 230
 chuva ácida, 575
 cicatrícula, 146

- ciclo
 - das pentoses, 92
 - de Calvin, 92
 - diplonte, 221
 - do carbono, 543
 - do nitrogênio, 545
 - do oxigênio, 544
 - haplonte, 221
 - haplonte-diplonte, 221
 - lisogênico, 192
 - lítico, 192
- cicloses, 77
- ciclostomados, 345
- cifozoários, 293
- cílios, 161
- cinetócoros, 116
- cinetossomo, 77
- cintura
 - escapular, 344
 - pélvica, 344
- circulação
 - completa, 392-3
 - dupla, 393
 - grande, 393
 - incompleta, 393
 - linfática, 396
 - pequena, 393
 - simples, 392
- circunvoluções cerebrais, 408
- cisticercose, 300, 304
- cistólitos, 260
- citocinese, 117
- citocininas, 276
- citocromos, 95
- citoesqueleto, 74
- citopígeo, 215
- citoprocto, 215
- citosol, 74
- citóstoma, 215
- cladística, 183
- cladódio, 263
- cladogênese, 182, 522
- cladograma(s), 183-4
- clamídias, 203
- clasmocitose, 69
- clitóris, 135
- clivagens, 145
- cloaca, 304
- clone, 128
- clorênquimas, 255
- clorofíceas, 220
- cloroplastos, 27, 81
- cnidócito, 290
- coacervatos, 19
- coagulação do sangue, 396
- coagulador, 377
- coanas, 348
- coanócitos, 287
- coanoderme, 287
- cobras
 - cegas, 352
 - de-duas-cabeças, 361
- cóclea, 412
- códon, 108
- coesão, 39, 272
- cogumelo, 227
- coifa, 252
- colchicina, 117
- colecistocinina, 382, 414
- colênquima, 253, 255
- coleóptilo, 252
- cólera, 207
- colesterol, 44
- coleta seletiva, 580
- colmo, 262
- cólon, 382
- colônia, 552
- coloração de advertência, 514
- coluna vertebral, 407
- comensalismo, 553
- compensação de dose, 482
- compensação fótica, ponto de, 275
- competição
 - interespecífica, 554, 556
 - intra-específica, 552
- componentes
 - abióticos, 536
 - bióticos, 536
- compostagem, 579
- comunidade, 537
 - clímax, 562
- concentração, 63
- Concentricycloidea, 334
- concha, 313
- condrictes, 346
- condrioma, 82
- condroblastos, 167
- condrócitos, 167
- cones, 411
- conídias, 227, 231
- conidiósporos, 227, 231
- conjugação, 206
- consumidores, 23
 - primários, 538
 - secundários, 538
 - terciários, 538
- convergência evolutiva, 506
- coqueluche, 207
- corais, 294
- coral-cérebro, 294
- cordados, 147
- coróide, 411
- corola, 243
- corpos de frutificação, 227
- corpúsculo
 - basal, 77
 - de Barr, 482
 - polar, 133
 - renal, 399
- cortiça, 256
- cotilédones, 244
- Craniata, 341
- crescimento
 - período de, 132
 - primário, 253
 - secundário, 256
- cretinismo, 413
- criacionismo, 18
- Crinoidea, 333
- criptógamas, 239
- crista(s)
 - mitocondriais, 82
 - neural, 151, 343
- Crocódilia, 359
- crocodilos, 359
- cromátides
 - homólogas, 119
 - irmãs, 116, 119, 433
- cromatina sexual, 482, 485
- cromoplastos, 81
- cromossomos(s)
 - acrocêntrico, 122
 - homólogos, 115, 432
 - irmãos, 117
 - metacêntrico, 122
 - sexuais, 480
 - submetacêntrico, 122
 - telocêntrico, 122
- crossing-over*, 120
- crotalíneos, 368
- crupe, 207
- Crustacea, 324
- crustáceos, 328
- cubomedusas, 293
- cuíca, 367
- cutina, 254

D

daltonismo, 484
 datação radiométrica, 516
 decompositores, 23
 deficiência, 476
 deglutição, 379
 deleção, 476
 dendritos, 171
 dengue, 197
 deplasmólise, 64
 deriva genética, 516
 desaminação, 97
 desertos, 565
 desmossomos, 161
 desnaturação, 47
 desoxirribose, 42
 deuteromicetos, 230
 diabetes
 insípido, 413
 melito, 136, 414
 díades, 120
 diafragma, 383
 diálise, 402
 diapedese, 68
 diástole, 394
 diatomáceas, 219
 terra de, 220
 diatomito, 220
 diblásticos, 148
 dicariótico, 228
 dicotiledôneas, 244
 dictiossomos, 79
 diencéfalo, 408
 difteria, 207
 difusão, 64
 mecânica, 193
 digestão, 376
 dinoflagelados, 219
 Dinophyta, 218
 dinossauros, 358, 362
 dipeptídeo, 46
 diploblásticos, 148
 diplópode, 331
 dipnóicos, 348
 discos intercalares, 169
 disenteria amebiana, 217
 displasia ectodérmica
 anidrótica, 486
 distonia, 136
 distrofia muscular progressiva
 do tipo Duchene, 485

divergência evolutiva, 507
 DNA
 biblioteca de, 496
 ligases, 495
 -lixo, 425
 -polimerase, 106
 recombinante, 496
 doença(s)
 de Alzheimer, 112, 136
 de Chagas, 217
 de Gaucher, 467
 de Tay-Sachs, 80
 renais, 402
 dominância
 apical, 276
 ausência de, 441
 dragão-de-comodo, 361
 drupa, 265
 drusas, 260
 ductos (dutos)
 deferentes, 134
 ejaculatórios, 134
 linfáticos, 391
 duodeno, 380
 duplicação, 476
 semiconservativa, 106
 dura-máter, 407

E

ecdise, 323
 Echinoidea, 333
 ectoderma, 148
 ectoparasitas, 554
 ectotermia, 357
 éfiras, 293
 elapíneos, 368
 elasmobrânquios, 346
 elefantíase, 307
 elementos
 crivados, 256
 traqueais, 255
 eletroforese, 493
 embrioblasto, 153
 endocárdio, 170
 endoderma, 148
 endoderme, 257-8
 endoesqueleto, 219
 endoparasitas, 554
 endosperma, 244
 endósporos, 205

endotermia, 357
 energia de ativação, 48
 Engenharia genética, 425, 492
 enterobiose, 308
 enteroceloma, 285
 enterogastronas, 414
 entomofilia, 244
 entrenó, 253
 enxertia, 246
 enzimas
 de restrição, 492
 digestivas, 376
 eosinófilo, 395
 epibolia, 148
 epicótilo, 252
 epiderme, 253
 epidídimos, 134
 epífise, 414
 epistasia
 dominante, 463
 recessiva duplicada, 463
 epitélios, 160
 equidna, 366
 equinodermos, 331
 ergastoplasma, 79
 eritroblastose fetal, 455
 eritrócitos, 395
 escamas placóides, 346
 esclera, 411
 esclerênquima, 253, 255
 esclerótica, 411
 escólex, 303
 escorbuto, 41
 esfíncter
 da cárdia, 377, 380
 pilórico, 377, 380
 espécie(s)
 conceito biológico de, 182
 conceito filogenético de,
 184
 extinção de, 574
 esperma, 134
 espermátides, 132
 espermatócitos
 primários, 132
 secundários, 132
 espermatófitas, 240
 espermátogônias, 132
 espermatozóides, 132
 espermiogênese, 132
 espiráculos, 326
 espongiocelo, 287

esponjas, 286
 esporófitos, 221, 240
 esporogonia, 216
 esporos, 119, 221
 esporozoítos, 216
 esporulação, 221
 esqueleto
 apendicular, 344
 axial, 344
 esquistossomose, 300, 303
 esquizoceloma, 285
 estágio seral, 562
 estame(s), 243-4
 estaquia, 246
 estepes, 565
 estigma, 244, 330
 estilete, 244
 estiolamento, 277
 estipe, 262
 estípulas, 264
 estolão, 263
 estolho, 263
 estômatos, 254
 estrela-do-mar, 332
 estria de Caspary, 258
 estrobilação, 293, 303
 estróbilos, 242
 estrógeno, 414
 estroma, 82
 estrutura etária, 556
 etapa
 fotoquímica, 91
 química, 92
 etileno, 276
 Eubacteria, 188, 202
 eucariontes, 27
 eucariotos, 27
 Eucarya, 188
 eucromatina, 105
 Euglenophyta, 218
 evolução convergente, 506
 éxon, 424
 expiração, 384
 extinção de espécies, 574

F

fagocitose, 67
 fagossomos, 67
 fagos T, 191

fanerógamas, 239-40
 fator natriurético, 414
 febre
 amarela, 197
 maculosa, 203, 207
 fecundação cruzada, 129
 feiticieras, 345
 felema, 256
 feloderme, 256
 felogênio, 256
 fendas faringianas, 340
 fenilcetonúria, 52
 fenômenos físicos e químicos, 376
 fenótipo, 433
 feromônios, 578
 ferrobactérias, 93
 fetoscopia, 502
 fiandeiras, 330
 fibras
 colágenas, 166
 cromossômicas, 117
 do cinetócoro, 117
 elásticas, 166
 polares, 116
 reticulares, 166
 fibrilação ventricular, 403
 fibrina, 396
 fibrinogênio, 396
 fibroblastos, 166
 fibrose cística, 66
 ficobilinas, 91
 fígado, 381, 414
 filária, 307
 filariose, 307
 filete, 244
 filogênese, 180
 filogenia, 180
 filotraquéias, 330
 fitocromo, 276
 fitoplâncton, 214
 floema, 254-5
 floresta
 Amazônica, 566
 boreal, 565
 temperada, 565
 tropical, 565
 florígenos, 278
 folha(s)
 de plantas carnívoras, 264

embrionárias, 252
 invaginante, 264
 paralelinérvias, 264
 pecioladas, 264
 peninérvias, 264
 simples, 264
 folhoso, 377
 folíolos, 264
 fontes termais submarinas, 564
 foraminíferos, 214
 forcípula, 331
 fosforilação oxidativa, 95
 fosseta loreal, 369
 fotoblastismo, 277
 fotofosforilação, 91
 fotólise da água, 91
 fotoperiodismo, 277
 fotorreceptores, 410
 fototropismo, 275
 fragmentação, 221, 288
 frústula, 219
 fruto partenocárpico, 265
 fungos, 226
 predadores, 234
 fuso mitótico, 117

G

galactosemia, 467
 gambá, 367
 gametângios, 239
 gametas
 parentais, 473-4
 recombinantes, 473-4
 gametócito, 216
 gametófitos, 221, 240
 gastrina, 382, 414
 gastroderme, 290
 Gastropoda, 314
 gata de três cores, 488
 gaviais, 359
 gavinhas, 264
 gema(s)
 apical, 253
 axilares, 253
 laterais, 253
 gêmeos, 155
 gemiparidade, 128
 gemulação, 289

gêmulas, 289
 gene(s), 424
 epistático, 462
 hipostático, 462
 holândricos, 484
 genoma, 426
 genótipo, 434
 geotropismo, 275
 geração
 F₁, 430
 F₂, 430
 parental, 430
 germinação
 epígea, 252
 hipógea, 252
 giardíase, 217
 giberelinas, 276
 gigantismo, 413
 gimnospermas, 240
 gineceu, 243-4
 girino, 350
 glândula(s)
 adrenais, 413
 antenares, 329
 coxais, 330
 endócrinas, 164
 exócrinas, 164
 mamárias, 364
 maxilares, 329
 mistas, 164
 odoríferas, 365
 paratireóideas, 413
 parotóides, 351
 pineal, 414
 pituitária, 408
 sudoríparas, 365
 supra-renais, 413
 tireóidea, 413
 uropigiana, 363
 verdes, 329
 glicocálix, 61
 glicogênio, 42
 glóbulo(s)
 brancos, 395
 polar, 133
 vermelhos, 395
 glomérulo renal, 399
 glote, 377
 glucagon, 381
 gnatostomados, 345
 golgiossomos, 79

gonadotropina coriônica, 414
 Gonduana, 32
 Gram, método de, 203
grana, 82
 granulócitos, 395
granum, 82
 grão de pólen, 240, 243
 gravidez
 ectópica, 153
 tubária, 153
 gravitropismo, 275
 gripe, 197
 grupo
 de ligação, 475
 prostético, 47
 gutação, 272

H

hábitat, 540
 halófilas extremas, 202
 hanseníase, 207
 haste, 262
 haustórios, 262
 heliófilas, 275
 heliozoários, 214
 hematose, 385
 hemidesmossomos, 161
 hemimetábolo, 326
 hemodiálise, 402
 hemofilia A, 485
 hemoglobina, 385
 hepáticas, 240
 hepatite, 197
 herança
 ligada ao sexo, 484
 ligada ao X, 484
 ligada ao Y, 484
 restrita ao sexo, 484
 hermafroditas, 129
 herpes simples, 198
 heterocromatina, 105
 heterossomos, 480
 heterótrofos, 20
 heteroxenos, 307
 heterozigose, 433
 heterozigótico, 433
 hibridação *in situ*, 494
 hidatódios, 272
 hidrocoria, 266
 hidrosfera, 33
 hidrozoários, 291
 hifas, 226
 cenocíticas, 226
 hímen, 135
 hiperplasia congênita da
 supra-renal, 488
 hipertireoidismo, 413
 hipertricose auricular, 487
 hipocótilo, 252
 hipoderme, 365
 hipófise, 408, 412
 hipotálamo, 408, 413
 hipotireoidismo, 413
 Hirudinea, 317
 histoplasmose, 234
 HIV, 191, 194
 holocéfalos, 346
 holometábolo, 327
 Holoturoidea, 333
 homens
 das cavernas, 529
 de Cro-Magnon, 530
 homeostase, 374
 homeotérmico, 357
 homínídeos, 526-7
Homo, 528
 erectus, 529
 habilis, 528
 neanderthalensis, 529
 homologia, 506
 homozigose, 433
 homozigótico, 433
 hormônios, 164
 adrenocorticotrópicos, 412
 da floração, 278
 gonadotrópicos, 412
 tireoideotrópicos, 412
 trópicos, 412
 hospedeiro
 definitivo, 217
 intermediário, 217

I

íleo, 380
 ilhotas de Langerhans, 414
 imago, 326
 impulso
 da raiz, 272
 nervoso, 171

imunização
ativa, 398
passiva, 398
imunoglobulinas (Ig), 397
incineração, 579
inclusões citoplasmáticas, 74
índice de massa corpórea, 51
infarto do miocárdio, 403
ingestão, 376
inglúvio, 377
inquilinismo, 553
inspiração, 384
insulina, 381
integrase, 195
interações
epistáticas, 462
não-epistáticas, 463
interfase, 116
íntron, 424
inversão, 476
térmica, 576
invertebrados, 283
isolamento reprodutivo, 524
isquemia
cardíaca, 403
cerebral, 403

J

jabutis, 359
jacarés, 359
jejuno, 380

L

lacertílios, 360
lactase, 381
lactose, 42
lagarta, 327
lâmina basal, 160
lampreias, 345
lanterna-de-aristóteles, 333
Laurásia, 32
leishmaniose
de pele, 218
visceral americana, 217
lenho, 254-5
lepra, 207

leptospirose, 207
lesmas, 314
leucoplastos, 82
líber, 254-5
ligação gênica, 471
limbo, 264
linfa, 391
linfócito(s), 395
"assassinos", 398
T auxiliares, 398
linfogranuloma venéreo, 203
linha lateral, 347
linkage, 471
lipase pancreática, 381
líquido cefalorraquidiano, 407
litosfera, 33
lixo, 579
lixões, 209
lócus (*locus*) gênico, 115, 432
lombriga, 306

M

macrófagos, 67, 166
macronúcleo, 215
macronutrientes, 271
malária, 216
maleita, 216
maltase, 381
mamíferos placentários, 367
manguezais, 568
manto, 313
marca-passo, 394
maré vermelha, 219
maremotos, 30
Marsupialia, 367
mastigação, 376
mata
Atlântica, 567
de araucária, 567
matriz mitocondrial, 82
mecanismos
pós-zigóticos, 524
pré-zigóticos, 524
mecanorreceptores, 410
medula
oblonga, 408
óssea, 167
medusas, 289

melanina, 366
melanócitos, 366
melatonina, 414
melhoramento genético, 492
membrana basal, 161
menarca, 132
meninge, 407
aracnóide, 407
dura-máter, 407
pia-máter, 407
meningite epidêmica, 207
menopausa, 133
menstruação, 133
mergulhia, 246
meristema
fundamental, 253
intercalar, 253
merozoítos, 216
mesencéfalo, 408
mesentoderma, 148
mesoderma, 148
mesofilo, 260
meso-hilo, 288
mesossomo, 73-4
metabolismo, erros inatos do, 422
metacêntrico, 122
metaemoglobinemia, 546
metáfitas, 33
metagênese, 119
metameria, 286
metamorfose
completa, 327
gradual, 326
metanefrídios, 314
metanogênicas, 202
metástase, 118
Metatheria, 367
metencéfalo, 408
mexilhão, 316
-dourado, 573
micélio, 226
reprodutor, 227
vegetativo, 226
Micologia, 226
micoplasma, 203
micorizas, 231
micose, 234
microfilárias, 307
micrômetro, 60
micronúcleo, 215

micronutrientes, 271
 microscópio, 55
 composto, 56
 microvilos, 161
 microvilosidades, 161
 mielencéfalo, 408
 migração, 513
 mimetismo, 515
 miócitos, 168
 miofibrilas, 168
 miofilamentos, 168
 mioglobina, 375
 miosina, 77
 miótomos, 340
 mitocôndrias, 27
 moela, 377
 moléculas orgânicas, 13
 mongolismo, 124
 monócito, 395
 monocotiledôneas, 244
 monossomia, 124
 Monotremata, 366
 monóxido de carbono, 385
 organídeo, 474
 mórula, 146
 movimento
 amebóide, 77
 peristáltico, 376
 muda, 323
 musgos, 241
 mutação(ões), 513
 cromossômicas
 estruturais, 475
 mutualismo, 27, 553

N

nanismo, 413
 nanômetro, 60
 néctar, 244
 nectários, 244
 nefridióporos, 301
 nefro, 399
 néfron, 399
 nefrônio, 399
 nematocisto, 290
 Neodarwinismo, 512
 nervos, 173
 neurofibra, 172
 neuróglio, 171

neuroipófise, 413
 neurônios, 171
 neurotransmissores, 172
 neurulação, 149
 neutrófilo(s), 67, 395
 nexos, 162
 nicho ecológico, 540
 ninfa, 326
 nitrobactérias, 93
 nível trófico, 540
 nó, 253
 nódulos de Ranvier, 172
 notocorda, 147, 340
 nuclease, 381
 nucleóide, 27

O

oceanos, 563
 ocelos, 301
 oftalmoplegia crônica
 progressiva, 136
 olho(s)
 compostos, 325
 humano, cor do, 466
 Oligochaeta, 317
 oligodendrócito, 172
 omaso, 377
 omatídios, 325
 oosfera, 240-1
 Ophiuroidea, 333
 opistóglifa, 361
 ordens
 de Eutheria, 367
 de insetos, 327
 organelas
 citoplasmáticas, 27
 membranosas, 75
 organismos
 geneticamente
 modificados, 496
 transgênicos, 496
 órgãos
 de Corti, 412
 pineal, 408
 ornitofilia, 244
 ornotorinco, 366
 ósculo, 288
 osmose, 64

osso
 compacto, 167
 esponjoso, 167
 osteoblastos, 167
 osteócitos, 167
 ostra, 316
 ouriço-do-mar, 331
 ovário(s), 135, 244
 ovíparos, 129
 ovócito(s)
 primários, 132
 secundário, 133
 ovogônias, 132
 ovovivíparos, 129
 óvulo(s), 244
 alécitos, 131
 centrolécitos, 131
 heterolécitos, 130
 isolécitos, 130
 oligolécitos, 130
 telolécitos, 130
 oxiemoglobina, 385
 oxiurose, 308

P

pálio, 313
 pampas, 568
 pança, 377
 pâncreas, 381
 Pangéia, 32
 panículo adiposo, 365
 panspermia, 18
 Pantanal, 568
 papilas gustativas, 411
 papo, 377
 parasita
 heteroxeno, 307
 monoxeno, 307
 parasitismo, 553, 557
 parede celular, 62
 parênquima(s), 253
 aerífico, 255
 amilífero, 255
 aquéifero, 255
 clorofilado lacunoso
 (ou esponjoso), 260
 clorofilado paliçádico, 260
 clorofilados, 255
 cortical, 255
 medular, 255

- partenocárpico, 265
- partenogênese, 483
- pecilotérmico, 357
- pecíolo, 264
- pedicelárias, 332
- pedicelo, 243-4
- pedipalpos, 330
- pedúnculo, 243
- peixe(s)
 - elétricos, 348
 - ósseos, 347
 - voador, 350
- pelagra, 41
- pelecípodes, 316
- pele humana, 365
- pêlos, 254
- pelvis renais, 399
- penas, 362
- pênis, 134
- pepino-do-mar, 331
- pepsina, 380
- peptídeo natriurético atrial, 402
- peptidoglicano, 62, 203
- perereca, 352
- perianto, 244
- pericarpo, 265
- periciclo, 257
- periderme, 256
- período de crescimento, 132
- peristaltismo, 376
- permutação, 120, 513
- pernas articuladas, 323
- pérolas, 316
- pés ambulacrários, 332
- peste bubônica, 206
- pétala, 244
- Phaeophyta, 218
- pia-máter, 407
- pigmento respiratório, 385
- piloro, 377
- pinacócitos, 287
- pinacoderme, 287
- pinha, 243
- pinhão, 243
- pinocitose, 67
- pinossomos, 67
- piolhos-de-cobra, 331
- pirambóia, 348
- pirâmide
 - de biomassa, 542
 - de energia, 542
 - de números, 541
- pistilo, 243-4
- placa(s)
 - metafásica, 117
 - tectônicas, 31
- placenta, 367
- planárias, 300
- plâncton, 214
- plantação consorciada, 546
- plantas
 - carnívoras, folhas de, 264
 - de dias curtos, 277
 - de dias longos, 278
 - neutras, 277
 - transgênicas, 247-8
 - vasculares, 240
- plânula, 293
- plaquetas, 396
- plasma, 396
- plasmídeos, 74, 421
- plasmogamia, 228
- plasmólise, 64
- platelmintos, 300
- pneumatódios, 262
- pneumatóforos, 261
- pneumonia, 207
- polialelia, 443
- polinucleotídeos, 49
- poliomielite, 198
- polipeptídeo, 46
- pólipos, 289
- poluição
 - ambiental, 574
 - do ar, 575
 - por derramamento de petróleo, 578
 - por elementos radiativos, 577
 - por eutroficação, 579
 - por substâncias não-biodegradáveis, 577
 - sonora, 574
 - térmica, 575
- Polychaeta, 317
- Polyplacophora, 314
- ponte de Varolio, 408
- ponto de compensação fótica, 275
- poraquê, 348
- poríferos, 286
- porócitos, 288
- potencial
 - biótico, 555
 - de ação, 171
 - de membrana, 171
- predação, 557
- predadores, fungos, 234
- predatismo, 553
- pressão
 - diastólica arterial, 394
 - positiva da raiz, 272
 - sistólica arterial, 394
- princípio do fundador, 516
- procâmbio, 253
- procariontes, 27
- procariotos, 27
- produtores, 23
- progeria, 112
- progesterona, 414
- proglótides, 303
- propagação vegetativa, 128, 246
- proplastídeos, 82
- proplastos, 82
- prossímios, 525-6
- próstata, 134
- prostético, grupo, 47
- protease, 195
- proteróglifa, 361
- protocooperação, 553
- protocordados, 340
- protoderme, 253
- protonefrídio, 301
- protoplasma, 63
- Prototheria, 366
- protozoário(s), 213
 - amebóides, 213
 - ciliados, 213
 - esporozoários, 213
 - flagelados, 213
- protrombina, 396
- pseudocelomados, 150
- pseudofruto
 - composto, 265
 - múltiplo, 265
 - simples, 265
- pseudópodes, 77
- pteridófitas, 240

ptialina, 379
pulmão, 383
pupa, 327

Q

quelíceras, 330
quiasma, 120
 óptico, 408, 411
quilha, 363
quilificação, 381
quilo, 381
quimera, 346
quimificação, 380
quimiorreceptores, 410
quimiossíntese, 21
quimo, 380
quiropterofilia, 244
quitina, 42
quítons, 314

R

radícula, 252
radiolários, 214
rádula, 314
ráfides, 260
raiva, 198
raiz(ízes)
 adventícias, 261
 axial, 261
 estrangulantes, 261
 respiratórias, 261
 sugadoras, 262
 -suportes, 261
 tabulares, 261
 tuberosas, 262
raque, 407
raquitismo, 41
ratitas, 364
reação(ões)
 acoplamento de, 88
 endotérmicas, 88
 exotérmicas, 88
receptáculo, 243-4

receptores de dor, 410
rede alimentar, 539
reflexo patelar, 409
Reino
 Animalia, 33, 187, 189
 Fungi, 33, 187, 189
 Metaphyta, 187
 Metazoa, 33, 187
 Monera, 33, 187-8
 Plantae, 33, 187, 189
 Protista, 33, 187-8
 Protoctista, 187
relógio molecular, 517
rêmora, 350
renete, 305
renina, 401, 414
resfriado, 198
resistência ambiental, 555
resolução, poder de, 59
respiração cutânea, 383
retículo, 377
retina, 411
retrovírus, 193-4
Rhodophyta, 218
Rhyncocephalia, 358
ribose, 42
ribossomos, 74
rim(ns), 399
 pedra no, 402
riquetsias, 203
rizóforo, 262
rizoma, 263
RNA polimerase, 107, 424
rotação de culturas, 546
rubéola, 198
rúmen, 377

S

sacarase, 381
sacarose, 42
sacos aéreos, 363
sáculo, 412
salamandras, 352
sâmara, 265
sangue, 391
 arterial, 385
 coagulação do, 396
 venoso, 385

sapinho, 234
sarampo, 198
savanas, 565
secretina, 382, 414
seio venoso, 392
seláquios, 346
seleção
 natural, 513
 sexual, 512
sêmen, 134
sépala, 244
sere, 562
serpentes, 360-1
sexo
 heterogamético, 481
 homogamético, 481
siclemia, 46, 513
sífilis, 207
silicose, 80
simbiose, 552
simetria
 bilateral, 284
 pentarradial, 284, 332
 radial, 284
sinapse, 172
síndrome
 da feminização testicular, 488
 de Down, 124, 477
 de Edwards, 124
 de Klinefelter, 124, 482
 de Leigh, 136
 de Patau, 124
 de Turner, 124, 482
 do "miado de gato", 477
 orofaciadigital, 477
sinergia ambiental, 573
siringe, 363, 383
siris, 328
sistema
 ambulacrário, 332
 circulatório aberto, 313
 circulatório fechado, 313
 de Havers, 167
 esquelético, 374
 hidrovascular, 332
 imunitário, 397
 muscular, 375
 radicular fasciculado, 261
 radicular pivotante, 261

sistema nervoso
 autônomo (SNA), 409
 autônomo parassimpático, 410
 autônomo simpático, 410
 divisão autônoma do, 409
 parte periférica do, 409
 Sistemática, 180
 sístoles, 394
 sociedade, 552
 solenócito, 301
 solenóglifa, 361
 solitárias, 303
 solução
 hipertônica, 64
 isotônica, 64
 sorédios, 235
 soros, 242
 Squamata, 360
 súber, 256
 submetacêntrico, 122
 substâncias
 hidrofilicas, 39
 hidrofóbicas, 39
 sucessão
 ecológica, 562
 primária, 562
 secundária, 562
 superfêmeas, 482

T

tagmas, 323
 tálamo, 408
 tartarugas, 359
 tato, 410
 tatu-bola, 328
 tatuzinho-de-quintal, 328
 taxa
 de mortalidade, 554
 de natalidade, 554
 taxonomia, 180
 tecido
 linfóide, 166
 mielóide, 166
 teia alimentar, 23, 539
 tela subcutânea, 365
 telencéfalo, 408
 telocêntrico, 122
 tênias, 303
 teníase, 300, 304

tensão superficial, 39
 teoria
 cromossômica da
 herança, 420
 da coesão-tensão, 272
 de Dixon, 272
 do fluxo em massa, 273
 teratologia, 155
 termófilas extremas, 202
 termorreceptores, 410
 terra de diatomáceas, 220
 territorialidade, 556
 testosterona, 414
 tétano, 207
 tétrade, 119
 tifo epidêmico, 203
 tilacóides, 82
 tilos, 259
 timo, 392, 397, 414
 tonoplasto, 65, 81
 tonsilas, 392, 397
 toxoplasmose, 218
 tracoma, 203
 transcrição, 424
 transcriptase reversa, 193,
 195, 494
 transdução, 206
 transformação, 206
 transgênicos, 426
 translocação, 273
 transpiração
 cuticular, 274
 estomática, 274
 traqueias, 326, 330
 traqueídeos, 255
 traqueófitas, 240
 trematódeos, 302
 triblásticos, 148
 tricomas, 254
 tricomoniase, 218
 trifosfato de adenosina, 88
 Trilobita, 324
 triploblásticos, 148
 tripsina, 381
 trissomia, 124
 trofoblastos, 153
 trombina, 396
 tromboplastina, 396
 tropismos, 275
 trufas, 232
 tuatara, 358

tubarões, 346
 tubas uterinas, 135
 tubérculo, 263
 tuberculose, 208
 túbulos de Malpighi, 330
 tundra, 565
 tunicados, 342
 tunicina, 342
 turbelários, 302

U

úlcera de Bauru, 218
 ultra-sonografia, 502
 umbrófilas, 275
 Uniramia, 324
 uremia, 402
 ureotélicos, 399
 ureteres, 399
 uretra, 134, 399
 uricotélicos, 399
 urina preta, anomalia da, 422
 urocordados, 340
 útero, 135
 utrículo, 412

V

vagina, 135
 valva
 aórtica, 394
 atrioventricular direita,
 394
 atrioventricular esquerda,
 394
 ileocecal, 382
 pulmonar, 394
 válvula
 espiral, 378
 mitral, 394
 tricúspide, 394
 varicela, 197
 varíola, 198
 vasos quilíferos, 382
 veias, 391
 vênulas, 391
 verme, 300
 vertebrados, 283

verticilos florais, 243
vesícula biliar, 381
vias uriníferas, 399
vilosidades, 381
 coriônicas, 154, 501
Virologia, 192
vírus, 14, 29
 do mosaico do tabaco,
 192
vitaminas, 40
viúvas-negras, 335
vivíparos, 129
vulva, 135

X

xantofilas, 91
xeromorfismo, 566
xilema, 254-5

Z

zigósporo, 228
zona
 afótica, 563
 de alongamento, 252

 de ramificações, 253
 fótica, 563
 lisa, 252
 pelúcida, 135
 pilífera, 253
zônula
 de adesão, 161
 de oclusão, 161
zoocoria, 266
Zoogeografia, 568
Zoologia, 283
zooplâncton, 214
zoósporos, 227

BIBLIOGRAFIA



- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J. D. *Biologia molecular da célula*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1997.
- AUDESIRK, T.; AUDESIRK, G.; BYERS, B. E. *Life on earth*. 2. ed. Prentice Hall, 2000.
- BREWER, R. *The science of ecology*. San Diego, Saunders College, 1994.
- BRUSCA, R. & BRUSCA, G. J. *Invertebrates*. Sunderland, Sinauer Associates, 1990.
- CAMPBELL, N. A. *Biology*. New York, The Benjamin/Cummings Publ., 1998.
- ; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. *Biology*. 5. ed. California, Addison Wesley Longman, 1999.
- DI DIO, L. J. A. *Tratado de anatomia aplicada*. São Paulo, Póllus, 1998. 2 v.
- FERRI, M. G. *Botânica: morfologia externa das plantas*. São Paulo, Nobel, 1981.
- . *Botânica: morfologia interna das plantas*. São Paulo, Nobel, 1981.
- FUTUYAMA, D. *Biologia evolutiva*. SBG/CNPq, 1993.
- GAMLIN, L. & VINES, G. *The evolution of life*. New York, Oxford University, 1991.
- GILBERT, S. F. *Developmental biology*. 6. ed. Massachusetts, Sinauer Associates, 2000.
- GRIFFITH, J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. *Introdução à genética*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998.
- GUYTON, A. C. & HALL, J. E. *Textbook of medical physiology*. 9. ed. Philadelphia, W. B. Saunders, 1996.
- HILDEBRAND, M. *Análise da estrutura dos vertebrados*. São Paulo, Atheneu, 1995.
- JUNQUEIRA, L. C. & CARNEIRO, J. *Histologia básica*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1990.
- KARP, G. *Cell and molecular biology*. New York, John Wiley & Sons, 1996.
- MARGULIS, L. & SCHWARTZ, K. V. *Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2001.
- MARZZOCO, A. & TORRES, B. B. *Bioquímica básica*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1999.
- MATIOLI, S. R. (ed.). *Biologia molecular e evolução*. Ribeirão Preto, Holos, 2001.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia de vigilância epidemiológica*. Brasília, Fundação Nacional de Saúde/Cenep, 1994.
- MOORE, K. L. & PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2000.
- MOORE-LANDECKER, E. *Fundamental of the fungi*. New Jersey, Prentice Hall, 1990.
- NETTER, F. H. *Atlas de anatomia humana*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1996.
- ODUM, E. P. *Ecologia*. São Paulo, Edusp, 1969.
- . *Ecologia*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1988.
- OTTO, P. G.; OTTO, P. A.; FROTA-PESSOA, O. *Genética humana e clínica*. São Paulo, Roca, 1998.
- PELCZAR JR., M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. *Microbiologia*. São Paulo, Makron Books do Brasil, 1997. v. 1.
- PESSÔA, S. B. & MARTINS, A. V. *Parasitologia médica*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1988.
- POUGH, F. H.; HEISER, J. B.; MCFARLAND, W. N. *A vida dos vertebrados*. São Paulo, Atheneu, 1999.

- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1996.
- . *Biology of plants*. New York, W. H. Freeman, 1999.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 3. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1993.
- ROMER, A. S. & PARSONS, T. S. *Anatomia comparada*. Ciudad de México, Nueva Editorial Interamericana, 1981.
- ROTHWELL, N. V. *Understanding genetics: a molecular approach*. New York, John Wiley & Sons, 1993.
- RUPPERT, E. E. & BARNES, R. D. *Invertebrate zoology*. New York, Saunders College, 1994.
- SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente*. São Paulo, Liv. Santos, 1996.
- SOLOMON, E. P.; BERG, L. R.; MARTIN, D. W. *Biology*. New York, Saunders College, 1999.
- WHITERS, P. C. *Comparative animal physiology*. New York, Saunders College, 1992.
- ZAHA, A. (coord.). *Biologia molecular básica*. Porto Alegre, Mercado Aberto, 1996.

SIGNIFICADO DAS SIGLAS



Cefet-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica (Minas Gerais)

Cefet-PR – Centro Federal de Educação Tecnológica (Paraná)

Cesgranrio-RJ – Centro de Seleção de Candidatos ao Ensino Superior do Grande Rio (Rio de Janeiro)

EEM-SP – Escola de Engenharia Mauá (São Paulo)

ENCE-UERJ-Cefet-UFRJ – Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Universidade Estadual do

Rio de Janeiro, Centro Federal de Educação Tecnológica, Universidade Federal do Rio de Janeiro

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

ESPM-SP – Escola Superior de Propaganda e Marketing (São Paulo)

FAAP-SP – Fundação Armando Álvares Penteado (São Paulo)

Fatec-SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

FEI-SP – Faculdade de Engenharia Industrial (São Paulo)

FEPA – Faculdade Estadual de Educação do Pará

FMU-FIAM-FAAM-SP – Faculdades Metropolitanas Unidas, Faculdades Integradas Alcântara Machado,

Faculdades de Artes Alcântara Machado (São Paulo)

Fuvest-SP – Fundação Universitária para o Vestibular (São Paulo)

MACK-SP – Universidade Mackenzie (São Paulo)

PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná

PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

PUC-SP – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Puccamp-SP – Pontifícia Universidade Católica de Campinas (São Paulo)

UCDB-MT – Universidade Católica Dom Bosco (Mato Grosso)

UECE – Universidade Estadual do Ceará

UEL-PR – Universidade Estadual de Londrina (Paraná)

UEM-PR – Universidade Estadual de Maringá (Paraná)

UEPA – Universidade do Estado do Pará

UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UFCE – Universidade Federal do Ceará

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFFRJ – Universidade Federal Fluminense (Rio de Janeiro)

UFGO – Universidade Federal de Goiás

UFJF-MG – Universidade Federal de Juiz de Fora (Minas Gerais)

- UFMA** – Universidade Federal do Maranhão
- UFMG** – Universidade Federal de Minas Gerais
- UFMS** – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
- UFMT** – Universidade Federal do Mato Grosso
- UFOP-MG** – Universidade Federal de Ouro Preto (Minas Gerais)
- UFPA** – Universidade Federal do Pará
- UFPB** – Universidade Federal da Paraíba
- UFPE** – Universidade Federal de Pernambuco
- UFPEl-RS** – Universidade Federal de Pelotas (Rio Grande do Sul)
- UFPI** – Universidade Federal do Piauí
- UFPR** – Universidade Federal do Paraná
- UFRJ** – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UFRN** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- UFRRJ** – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
- UFRS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina
- UFSCar-SP** – Universidade Federal de São Carlos (São Paulo)
- UFSE** – Universidade Federal de Sergipe
- UFSM-RS** – Universidade Federal de Santa Maria (Rio Grande do Sul)
- UFU-MG** – Universidade Federal de Uberlândia (Minas Gerais)
- UFV-MG** – Universidade Federal de Viçosa (Minas Gerais)
- UGF-RJ** – Universidade Gama Filho (Rio de Janeiro)
- UMC-SP** – Universidade Mogi das Cruzes (São Paulo)
- UnB-DF** – Universidade de Brasília (Distrito Federal)
- Unesp-SP** – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (São Paulo)
- UNI-RIO** – Universidade do Rio de Janeiro
- Unicamp-SP** – Universidade Estadual de Campinas (São Paulo)
- Unifesp-EPM** – Universidade Federal de São Paulo – Escola Paulista de Medicina
- Unifor-CE** – Universidade de Fortaleza (Ceará)
- Unisinos-RS** – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul)
- Vunesp-SP** – Fundação para o Vestibular da Unesp (São Paulo)

Av. Marquês de São Vicente, 1697

CEP 01139-904 – Barra Funda

São Paulo-SP

Tel.: PABX (0**11) 3613-3000

Fax: (0**11) 3611-3308

Teleendas: (0**11) 3613-3344

Fax Vendas: (0**11) 3611-3268

Atendimento ao Professor:

(11) 3613-3030 Grande São Paulo

0800-0117875 Demais localidades

Endereço Internet:

www.editorasaraiva.com.br

E-mail:

atendprof.didatico@editorasaraiva.com.br

Revendedores Autorizados

Aracaju: (0**79) 3211-8266/3213-7736/3211-6981

Bauru: (0**14) 3234-5643/3234-7401

Belém: (0**91) 3222-9034/3224-9038

Belo Horizonte: (0**31) 3429-8300

Brasília: (0**61) 3344-2920/3344-2951/3344-1709

Campinas: (0**19) 3243-8004/3243-8259

Campo Grande: (0**67) 3382-3682/3382-0112

Cuiabá: (0**65) 3901-8088

Curitiba: (0**41) 3332-4894

Florianópolis: (0**48) 3244-2748/3248-6796

Fortaleza: (0**85) 3238-2323/3238-1331

Goiânia: (0**62) 3225-2882/3212-2806/3224-3016

Imperatriz: (0**99) 3524-0032

João Pessoa: (0**83) 3241-7085/3241-3388/3222-4803

Londrina: (0**43) 3322-1777

Macapá: (0**96) 223-0706/223-0715

Maceió: (0**82) 3302-1680/3302-1681/3302-1679

Manaus: (0**92) 3633-4227/3633-4782

Natal: (0**84) 3611-0627/3211-0790/3222-1158

Porto Alegre: (0**51) 3343-1467/3343-7563

3343-2986/3343-7469

Porto Velho: (0**69) 3223-2383/3221-0019/3221-2915

Recife: (0**81) 3421-4246/3421-4510

Ribeirão Preto: (0**16) 3610-5843/3610-8284

Rio Branco: (0**68) 3224-0803/3224-0806/3224-0798

Rio de Janeiro: (0**21) 2577-9494/2577-8867/2577-9565

Salvador: (0**71) 3381-5854/3381-5895/3381-0959

Santarém: (0**93) 3523-6016/3523-5055

São José do Rio Preto: (0**17) 227-3819/227-0982

227-5249

São José dos Campos: (0**12) 3921-0732

São Luís: (0**98) 3243-0353

Teresina: (0**86) 3221-3998/3226-1956/3226-1125

Tocantins: (0**63) 3225-1736

Uberlândia: (0**34) 3213-5158/3213-6555

3213-4966

Vitória: (0**27) 3137-2595/3137-2589/3137-2566

3137-2567/3137-2560

**CÓPIA
ILEGAL
NÃO É LEGAL!**

Ao comprar um livro, você remunera e reconhece o trabalho do autor e o de muitos outros profissionais envolvidos na produção editorial e na comercialização das obras: editores, revisores, diagramadores, ilustradores, gráficos, divulgadores, distribuidores, livreiros, entre outros. Ajude-nos a combater a cópia ilegal! Ela gera desemprego, prejudica a difusão da cultura e encarece os livros que você compra.

ISBN 85-02-04796-5



9 788502 047969